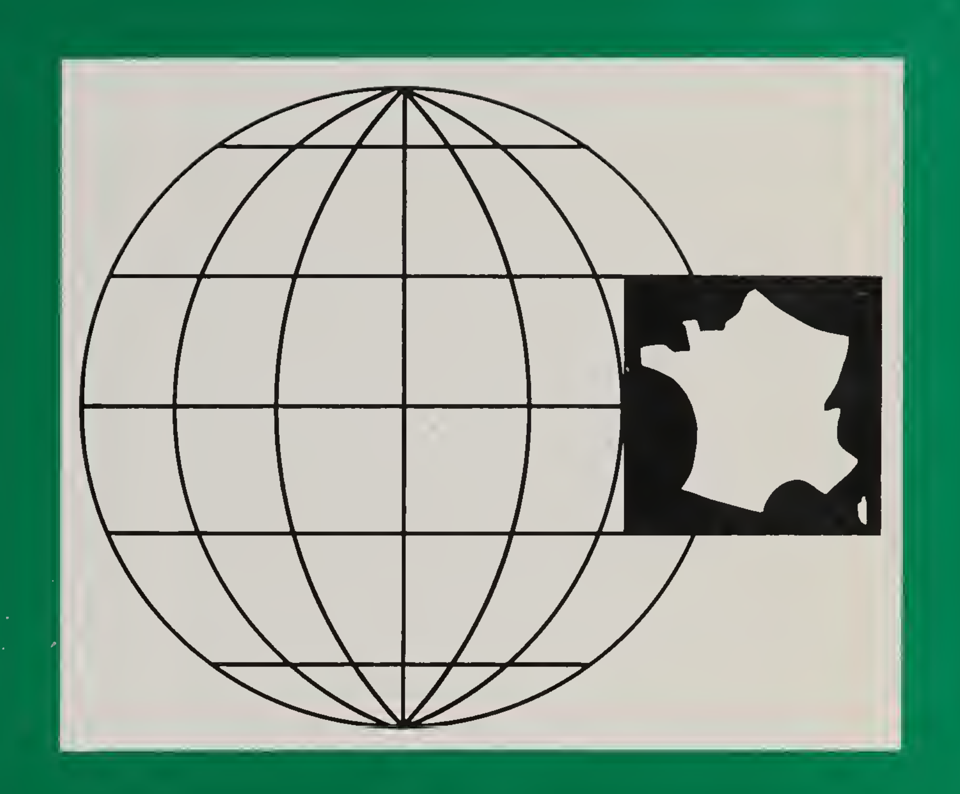
BUREAU DE RECHERCHES GEOLOGIQUES ET MINIERES



1985

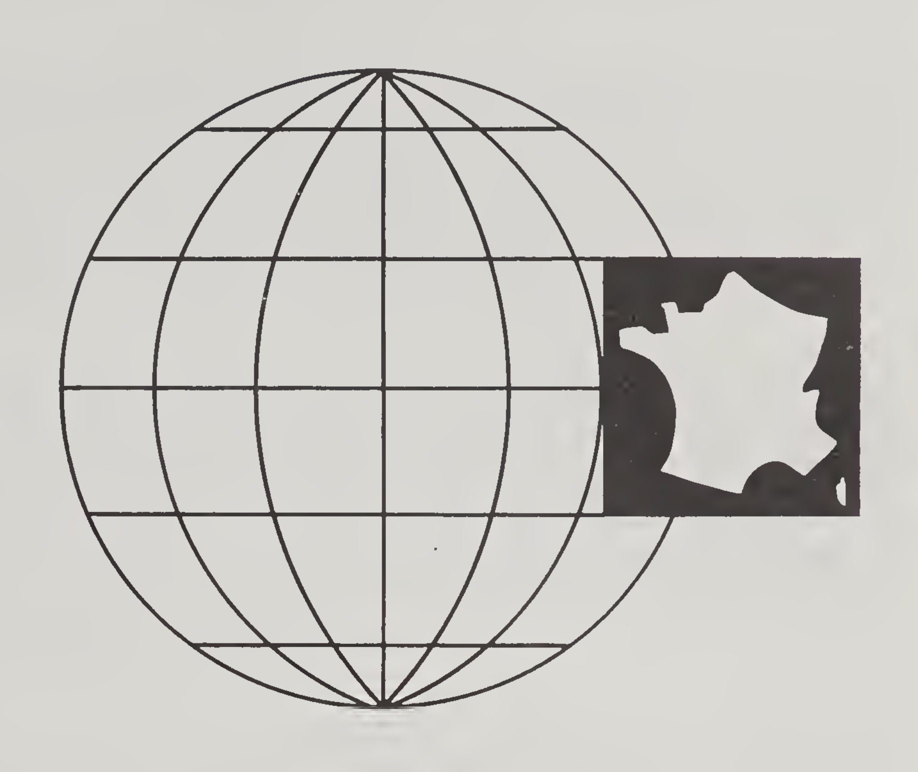
Principaux résultats scientifiques et techniques



PARIS, Tour Mirabeau, 39-43, quai André-Citroën 75739
ORLÉANS, BP 6009 Avenue de Concyr 45060

BUREAU DE RECHERCHES GEOLOGIQUES ET MINIERES

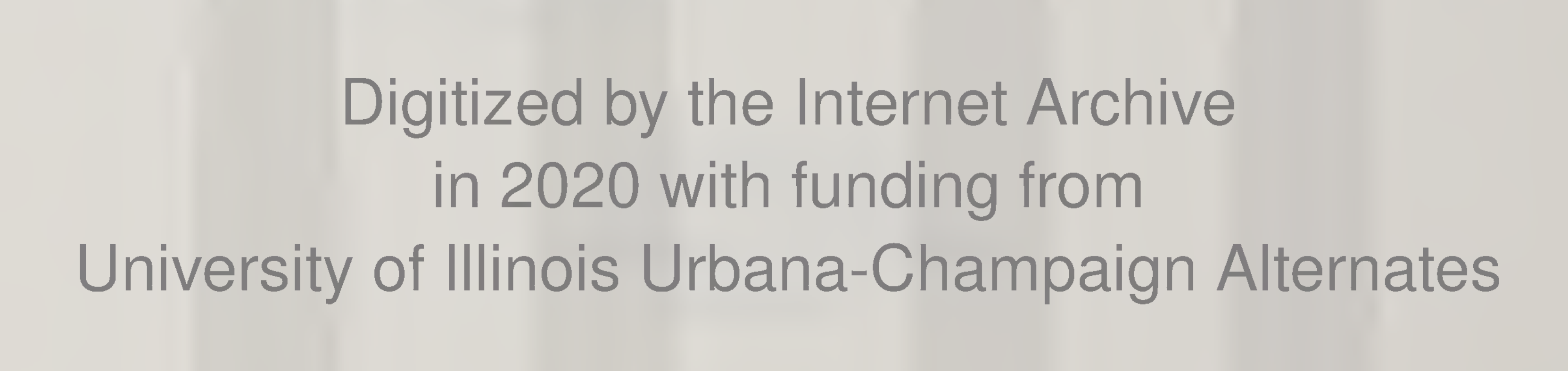
1985



Principaux résultats scientifiques et techniques



PARIS, Tour Mirabeau, 39-43, quai André-Citroën 75739
ORLÉANS, BP 6009 Avenue de Concyr 45060



Avant-propos

Ce volume annuel, le 13e d'une série inaugurée en 1973, est destiné à apporter aux nombreux partenaires du BRGM une information synoptique mais néanmoins précise et personnalisée sur les objectifs, les étapes et les résultats des travaux conduits dans l'exercice précédent sur les fonds de recherche publique.

La diversité de ces partenaires - scientifiques, industriels, administration et collectivités - trouve son reflet dans la diversité des sujets traités et dans l'hétérogénéité des approches, des plus fondamentales aux plus appliquées. Seule l'exigence de rigueur et de progrès devrait être uniformément partagée. En tête du volume, de courtes synthèses par thème dégagent les grandes lignes d'objectif et les principaux résultats, renvoyant le lecteur intéressé aux résumés de travaux et aux annexes bibliographiques. L'ambition n'est autre que de fournir un outil d'information et de favoriser les contacts avec les auteurs.

Tentons cependant, à la faveur de cet avant-propos, une mise en perspective plus globale des actions de recherche du BRGM selon sa vocation géologique et minière. Il lui revient en premier lieu d'élaborer et présenter la connaissance géologique du territoire *sous des formes accessibles au public, adaptées aux besoins des opérateurs du sous-sol ou de l'administration, et cohérentes avec les travaux de la communauté scientifique. Parmi diverses opérations menées à ce titre, la* Carte géologique de la France *à 1/50 000 et sa notice explicative par feuille, reste le premier programme du Service géologique national, achevé aux 2/3 avec la coopération de nombreux laboratoires universitaires.*

Outre son intérêt direct pour l'infrastructure nationale, ce programme constitue une référence de premier plan pour l'accès au marché, encore actif, de la cartographie géologique des pays en développement comme en témoignent les travaux en cours en Oman.

Destiné à assurer la couverture systématique du territoire français pour des applications multiples, le programme de la Carte est néanmoins conduit en tenant compte d'intérêts sectoriels et/ou régionaux. Ainsi, la carte des Landes a tendu à une reconstitution paléogéographique des lignes de rivage pour guider la recherche des lignites masquées par les recouvrements récents. De même, dans le sud du Massif armoricain, la carte s'emploie à fournir les contrôles géologiques d'un ensemble d'indices minéralisés en phase de première exploration.

Introduits en cours d'année, les moyens de dessin et de cartographie assistée par ordinateur *ont amorcé une mutation technologique dont on voit dès maintenant les prolongements conceptuels pour une cartographie plus souple, actualisable et sélective en fonction de divers besoins thématiques.*

Avec la cartographie géologique de surface, aux échelles compatibles avec les applications envisagées, la modélisation tridimensionnelle vers la profondeur et l'acquisition de paramètres caractérisant le milieu souterrain sont les bases décisionnelles de la plupart des opérations du sous-sol. Aussi le développement des moyens et méthodes d'auscultation géophysique ou géochimique *soit à partir de la surface, soit en forages de reconnaissance de petit diamètre représente-t-il un volet très important des activités de recherche du BRGM, ainsi que les* logiciels informatiques *de traitement et de* modélisation *indispensables pour soutenir et valoriser ce développement. Les aspects traités sont multiples, de la recherche minière à l'hydrogéologie, à la géothermie et à la géotechnique et ils se renforcent mutuellement car peu de techniques sont confinées à un seul des secteurs d'application sur lesquels porte l'activité de l'organisme. En dehors de tout particularisme inutile, l'expérience multisectorielle du BRGM conduit progressivement à une gamme d'intruments, de méthodes et de progiciels d'abord testés en conditions opérationnelles dans les activités de recherche et de service puis commercialisés ou intégrés dans des contrats de service. Parmi les nombreux cas mentionnés dans le corps de ce livret, des exemples de succès sont la nouvelle* gamme Syscal *d'appareil de géophysique légère, le* progiciel GMI-P de traitement des champs de potentiel *(en coopération avec CFP),* l'analyseur portatif par fluorescence X *S (co-production avec Schlumberger-Enertec),* l'orienteur de carottes BTV *(en coopération avec la filiale CFFM), les logiciels de traitement et de présentation des données de forages d'eau...*

La publication de la série "Manuels et Méthodes" ouverte aux spécialistes extérieurs comme à ceux du BRGM contribue, d'une autre manière, à cette ligne de promotion des méthodes modernes de la géologie appliquée.

Les progrès des méthodes d'auscultation, de pénétration et de modélisation du sous-sol ne peuvent être obtenus "in abstracto". Ils ne sont possibles qu'à l'occasion de grands chantiers donnant accès à la profondeur et à la réalité des systèmes profonds que l'on entend caractériser et modéliser à distance ou par traversée ponctuelle en forage de petit diamètre. Il faut de plus, vis-à-vis de nombreuses techniques, des chantiers en création ou en développement, exempts des perturbations de toute nature que provoquera leur équipement, à commencer par le tubage de protection des forages ou la câblerie électrique des travaux souterrains.

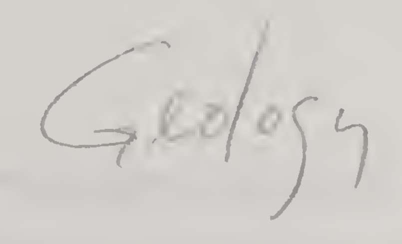
Par son engagement dans de nombreuses opérations soit en France soit à l'étranger, le BRGM est relativement bien placé pour accéder aux sites où peut être conduite une recherche significative. Certes, les ouvertures de grands chantiers miniers profonds ont pratiquement cessé. En revanche, et dans un autre domaine, les études engagées par l'ANDRA en vue du stockage profond des déchets nucléaires ont ouvert de remarquables possibilités et suscité un important courant de recherches au BRGM (fracturation aux diverses échelles, mesure de contraintes, hydrodynamique des milieux fissurés, analogues naturels de la diffusion et du blocage chimique à partir d'un stock métallifère mobilisable...).

Afin d'obtenir une très large mobilisation du potentiel scientifique et technologique national sur cette nouvelle frontière de la maîtrise des milieux et des systèmes souterrains profonds, deux programmes de forages scientifiques profonds ont été lancés en France, à l'instar des actions engagées ou en projet dans divers pays avancés. Le programme Géologie profonde de la France (GPF), géré par le BRGM en association avec le CNRS et la Direction des recherches des Universités, a identifié dix cibles relevant en priorité d'une exploration par forage, et achevé en 1985 les deux premiers forages (apex granitique à tantale-étain-lithium d'Echassières, Allier et système géothermal en socle cristallin fissuré du Cézallier, Puy-de-Dôme) dont la valorisation scientifique sera acquise pour l'essentiel en 1986. Le programme Géothermie profonde généralisée (GPG) géré par l'AFME avec l'appui du BRGM vise à progresser par étapes vers la connaissance et la valorisation des ressources géothermales profondes de moyenne ou haute énergie non directement liées à des champs volcaniques actifs. Le premier site sélectionné, dans le fossé rhénan, sous le champ pétrolifère de Pechelbronn, sera foré dans le cadre d'une coopération franco-allemande, avec l'appui de la CCE.

Les deux premières opérations GPF ont amplement démontré la capacité mobilisatrice des forages scientifiques vis-à-vis d'équipes de grande qualité ainsi que l'intérêt de tels chantiers pour le progrès de la mesure et de l'expérimentation en forage. Bien que cette voie soit coûteuse, il apparaît que les développements de la géologie quantitative et de la modélisation en sont largement tributaires.

Ce rapide survol est loin de recouvrir l'ensemble des activités et résultats présentés dans ce livret. Ainsi, les résultats et les promesses de la télédétection doivent retenir l'attention ; des progrès très sensibles ont été accomplis dans la connaissance de plusieurs types de minerais aurifères aboutissant à de nouveaux guides de prospection ; des confirmations ont été obtenues sur le rôle des fluides mantelliques dans le transport du chrome et la formation des gisements podiformes de chromite le long de zones de faiblesse ; les bases d'une recherche des platinoïdes ont été posées ; en minéralurgie, de nouveaux résultats ont été apportés sur le traitement des phosphates à gangue carbonatée et à gangue siliceuse tandis que des progrès importants ont été faits en conduite de procédés pour les séparations physiques ; en géothermie, des méthodes d'étude des facteurs de corrosion ou de colmatage ont été mises au point ; la propagation des nitrates dans les aquifères souterrains a été étudiée pour bâtir des modèles prévisionnels et un procédé de dénitrification bactérienne pour captage rural a été testé.

En dépit des aléas conjoncturels qui frappent les matières premières minérales, la valorisation et la gestion du sous-sol qui ne cessent d'élargir leur champ, constituent un domaine de progression technologique rapide et appellent un effort de recherche permanent à la mesure des enjeux que représentent les exploitations et les aménagements souterrains. Les scientifiques du BRGM ont donc conscience de servir des objectifs majeurs.



Sommaire

A. ANALYSE DE L'ACTIVITE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

ORGANISATION GÉNÉRALE

En 1985, a été mise en place une direction scientifique responsable de la programmation, de l'évaluation, de la gestion de l'ensemble des recherches menées au BRGM

L'année 1985 a été marquée par d'importantes réformes de structure et de gestion de la recherche ; conformément à la recommandation expresse contenue dans le rapport sur l'état des Sciences de la Terre en France, dit rapport CURIEN (1982), une *direction scientifique* a été mise en place. Direction horizontale, elle a pour mission de coordonner, de gérer, de prévoir la politique de l'établissement dans le domaine de la recherche et d'assurer la continuité et le développement des relations scientifiques nationales et internationales. Cette direction a mis en place une *gestion par projets* finalisés du programme de recherche. Elle s'appuie, de plus, sur des *comités d'orientation et d'évaluation sectorielles* (CORES) pour mener sa politique en étroite concertation avec la communauté scientifique nationale : cinq comités consultatifs ont été créés, chacun présidé par un scientifique extérieur, assisté de quatre experts représentatifs du CNRS, de l'Université ou d'autres établissements et de quatre spécialistes du BRGM. Ces comités rendent compte de leurs recommandations à la direction générale du BRGM via la direction scientifique d'une part, le Comité des sciences de la Terre, d'autre part.

GÉOLOGIE GÉNÉRALE ET CONNAISSANCE GÉOLOGIQUE RÉGIONALE

Appui à la cartographie géologique

Le plan adopté suite aux recommandations du Comité des sciences de la Terre et visant à accélérer l'édition des cartes géologiques de la France à 1/50 000 a été lancé ; il s'appuie sur un recours accru aux procédés de dessin cartographique assisté par ordinateur. A l'étranger, la valorisation des levés en Oman s'est poursuivie, apportant des résultats nouveaux.

1 - Cartographie de la France

En 1985, le Comité des sciences de la Terre a, sur la base d'un important travail d'enquête confié à une commission présidée par le professeur J. Dercourt, émis et transmis aux autorités compétentes des recommandations pour que soient prises les mesures indispensables pour une *résorption* aussi rapide que possible du *retard* accumulé *au niveau de l'impression et de l'édition des cartes géologiques à 1/50 000.* Dès 1985, le programme a été nettement orienté vers la résorption de ce stock, priorité étant donné à la préparation et à l'édition vis-à-vis des levés (17 coupures achevées). Ainsi 200 feuilles ont été traitées à divers stades de la fabrication et 17 coupures (16 cartes) ont été imprimées, dont une préparée par les procédés de cartographie automatique par ordinateur. A fin 1985, 694 coupures sur 1.128 étaient donc publiées (taux de couverture : 61 %). La même commission a également souhaité que soient mis en place un "comité de lecture" des minutes des cartes présentées par les auteurs, comité habilité à accepter les documents pour édition, et une régionalisation progressive du programme de levés, de façon à préparer une politique de cartographie du territoire lorsque sera achevée la phase actuelle de couverture systématique à 1/50 000.

Au niveau de l'édition, il faut également relever la réalisation de *quatre cartes DOM-TOM* (une en Nouvelle-Calédonie, deux à Mayotte, une à la Réunion) d'une feuille de la *carte des gîtes minéraux à 1/500 000* (Toulouse) et de la partie Nord de la carte des *fonds du plateau continental* du golfe de Gascogne (appui IFREMER) [voir dans ce volume le résumé scientifique RS 1962].

Ce sont 40 000 cartes qui ont été vendues en 1985, tous thèmes et toutes échelles confondus (27.500 exemplaires de la carte géologique de la France à 1/50 000).

Les recherches sur les cartes modulables ont fait l'objet de travaux importants de diverses équipes des départements Géologie générale, Informatique scientifique appliquée et Technique cartographique : des cartes en trois dimensions (blocs diagrammes) qui sont issues de ces travaux intègrent des données cadastrales, celles relatives aux formations superficielles, celles du fichier de pente, etc. D'intéressantes applications de ce type de documents, utiles au niveau des décisions et de la prévision, ont été faites pour traiter des problèmes viticoles d'appellations contrôlées.

2 - Apports scientifiques

En France métropolitaine, les travaux conduits dans le *Massif central*, maintenant bien avancés, ont contribué à la mise en évidence, puis à la confirmation, de la structure en nappe de cette partie de l'orogène varisque. La reconnaissance d'une telle structure ainsi que l'élucidation progressive des lignées magmatiques et volcaniques ont non seulement d'importantes conséquences au plan de la compréhension de l'histoire géologique régionale, voire globale, mais elles permettent d'y mieux situer les divers types de minéralisations dans leur contexte géodynamique et faciliter ainsi leur prospection [voir RS 1999].

Dans les Landes, la reconstitution paléogéographique des *bassins sédimentaires quaternaires*, réalisée à l'occasion du levé systématique des cartes géologiques de ce secteur a permis d'orienter, à moindre coût, des prospections aveugles des réserves de lignites dont le dépôt, donc la répar tion, est contrôlée par cette paléogéographie.

L'approfondissement des levés détaillés dans le bassin *synclinal paléozoïque de St Georges-sur-Loire* (Loire-Atlantique), bassin recélant des minéralisations sous forme d'amas sulfurés, a apporté les éléments nécessaires à la construction d'un cadre structural et lithologique précis [voir RS 1983]. Il sert désormais de base à l'interprétation des campagnes de prospection géochimiques et géophysiques. Sur un plan plus fondamental, ce cadre conduit à un modèle géodynamique tout à fait nouveau pour cette partie de la chaîne varisque.

Enfin, une thèse d'Etat sur les *granites corses* est un exemple de valorisation scientifique des levés, étalés sur plusieurs années, d'un ensemble de cartes à 1/50 000 [voir RS 1989]. Etendant ce type de recherches, les spécialistes du GIS BRGM /CNRS ont travaillé sur les relations entre granitoïdes tardi-hercyniens et roches basiques-ultrabasiques, relations prises comme éléments explicatifs de l'évolution géodynamique de la *chaîne varisque du Sud de l'Europe* [voir RS 1990].

3 - Cartographie géologique à l'étranger

D'importants travaux de cartographie ont été réalisés depuis plusieurs années par le BRGM, notamment en *Arabie Saoudite* sur une superficie de plus de 300 000 km². La carte géologique du socle à 1/250 000 est désormais terminée (14 coupures) tandis qu'elle se poursuit sur la partie sédimentaire (5 cartes imprimées).

La cartographie thématique y est également importante : cartes hydrogéologiques, cartes de magnétisme aéroporté (tout le bouclier est levé, soit 55 cartes à 1/250 000 ; cartes des substances utiles autour des grands centres à 1/100 000).

Cet ensemble de travaux, qui constitue l'établissement d'une véritable infrastructure géologique de l'Arabie Saoudite, s'est accompagné de nombreuses études scientifiques.

En Oman, l'impression de 13 cartes géologiques et de leur notice est en cours pour la partie Nord du pays (ceinture ophiolitique) ; pour le Dhofar (couverture sédimentaire), les travaux en sont au stade du lever de terrain.

La valorisation de la cartographie Oman a été poursuivie, notamment sous la forme de synthèses pétrologiques et biostratigraphiques [voir RS 1965 à RS 1976].

Une *synthèse géologique du Mozambique* a été présentée [voir RS 1964].

Géologie profonde de la France

En 1985, le sondage sur la coupole de leucogranites d'Echassières (Allier) a été achevé ainsi qu'un doublet de forages sur un système géothermal du Cézallier (Puy-de-Dôme) ; les résultats bruts de ces ouvrages, dans lesquels les technologies d'instrumentation in situ ont joué un grand rôle, ont été rapidement mis à la disposition de la communauté scientifique pour leur exploitation approfondie.

Ce programme national a pour objectif l'acquisition, par des forages scientifiques, de données permettant d'accroître nos connaissances en profondeur de notre sous-sol et la modélisation de systèmes géologiques d'intérêt exemplaire. Il vise, de plus, le progrès des méthodes d'investigation et d'intervention en forages.

En 1985, ce programme a connu une nette accélération puisqu'à été achevé le premier forage à Echassières (900 m) et un doublet sur le site du Cézallier [voir RS 1979]. Cette intense activité de chantier a été accompagnée de nombreux travaux scientifiques de préparation, de suivi et d'exploitation des résultats. Une collaboration fructueuse s'est nouée sur le terrain entre des équipes de disciplines et d'origines variées. Tous les résultats bruts ont été publiés et sont disponibles pour la phase d'exploitation scientifique des données.

Rappelons qu'à *Echassières* le forage a traversé de part en part, sous une couverture de micaschistes contenant un stockwerk à wolframite, une coupole de leucogranites.

Au *Cézallier*, où l'on visait une meilleure connaissance des circulations d'eau dans un socle profond, les ouvrages sont restés dans les différents faciès de l'orthogneiss de Ste Alyre. Ils ont trouvé une fracturation très importante et exc exceptionnellement variée sur laquelle d'intéressantes observations nouvelles ont été faites ; des réseaux aquifères successifs ont été identifiés dont la minéralisation croît avec la profondeur et la température.

Si les actions de forage évoqués ci-dessus ont ralenti les études sur les autres thèmes, 1985 a néanmoins vu la relance ou la poursuite de travaux sur les thèmes "chevauchements varisques du Limousin", "Précambrien breton", "Volcanismes du Mont-Dore", "Bassins du Sud-Est".

Parallèlement, de nouvelles réflexions ont été engagées sur les thèmes Alpes et Pyrénées en liaison avec les équipes du programme ECORS.

Enfin, le projet *Anomalie magnétique du Bassin de Paris* a été particulièrement avancé [voir RS 1978] : il est prévu pour 1986-1987 de forer jusqu'à plus de 3.000 m un ouvrage implanté dans le Sancerrois permettant des études de la série sédimentaire et du socle, de différents paramètres géophysiques et de reconnaître la nature de l'anomalie magnétique. Voir également Géochronique n° 16, 1985 et n° 17, 1986.

L'ensemble des résultats de la phase 2 de GPF ont été publiés dans les *Documents BRGM* n° 95-0 à 95-12, ceux concernant la phase 3 (thème 8) dans le *Document BRGM* n° 100.

Synthèses géologiques régionales et thématiques

Parallèlement à la poursuite de travaux complémentaires sur le terrain, l'organisation du travail de synthèse des Pyrénées a été parachevée dans un cadre d'étroite collaboration franco-espagnole matérialisée par un accord-cadre.

La synthèse des Pyrénées, à laquelle collaborent environ 300 géologues et géophysiciens, essentiellement français et espagnols, a été définitivement lancée. Les 14 groupes de travail ont tenu une vingtaine de réunions, alternativement en France et en Espagne ; chaque groupe a établi le plan détaillé du chapitre le concernant, défini les cartes de l'atlas et réparti les tâches de rédaction entre les collaborateurs. Un groupe de synthèse, assurant la supervision scientifique de l'ensemble des travaux a été crée.

Dans ce cadre, une thèse contribue à une meilleure compréhension des *nappes hercyniennes précoces* de l'Ariège [voir RS 1977].

Géodynamique

La reconnaisance de l'arc antillais s'achève avec la mise sur pied d'un nouveau modèle géodynamique. Des éléments nouveaux ont été apportés à la connaissance de l'évolution du Massif armoricain et de la néotectonique de la France ; les applications de ces apports sont importantes (sécurité des stockages, recherches minières).

Dans le domaine de la *géodynamique du domaine alpin*, on relèvera plus particulièrement la soutenance d'une thèse d'Etat sur le "Jurassique dauphinois entre Durance et Rhône, étude stratigraphique et géodynamique, évolution d'une portion de la marge ligure" [voir RS 1987]. Une autre thèse a concrétisé plusieurs années de travail sur *la néotectonique de la France*, avec pour titre "géodynamique actuelle dans le Nord et le Nord-Est de la France, apport des comparaisons de nivellement" [voir RS 1745, Résumés scientifiques 1984].

Un travail, localisé à la région de *Fougères*, apporte des solutions au problème des études néotectoniques dans des zones dépourvues de sédiments récents [voir RS 1985].

Des recherches sur les champs de contrainte dans le *couloir rhodanien* apportent des éléments nouveaux montrant que le régime de compression E-W dominant au Miocène, se modifie dès le Pliocène pour devenir essentiellement N-S ; cette modification est prise pour résultat de l'affrontement des plaques africaine et européenne [voir RS 1988].

En *géologie marine*, l'effort mené durant plusieurs années sur la reconnaissance de l'arc antillais (programme ARCANTE) s'achève ; une douzaine de publications scientifiques renouvellent le modèle géodynamique de cette région [voir RS 1963, RS 1980 et RS 2007].

En association avec le GIS Océanologie et géodynamique (Brest), l'élargissement du travail sur les marges actives et les arcs insulaires de l'Ouest Pacifique, des Philippes [voir RS 1981] aux Fidji, s'est poursuivi avec une même orientation des préoccupations sur les problèmes de métallogénie liés à ce contexte géodynamique particulier (voir chapitre Sulfures polymétalliques...). Enfin, les travaux sur la mer Rouge et ses boues métallifères dans différentes fosses, se sont concrétisés par deux thèses de stagiaires-boursiers et trois publications.

La participation active des équipes du BRGM à la *R.C.P. 705 géodynamique du Massif armoricain* s'est poursuivie en 1985 ; les travaux ont porté sur le Briovérien, la géodynamique cadomienne et l'évolution orogénique varisque des domaines nord et sud armoricains et vendéens, ce dernier domaine bénéficiant progressivement de l'essentiel des efforts, tandis que des liaisons accrues sont aménagées avec les travaux menés sur le Massif central [voir RS 1982, RS 1984 et RS 1986].

Sédimentologie, stratigraphie, géologie du Quaternaire et des formations superficielles

D'intéressantes applications de la cathodoluminescence ont été montrées, notamment sur les phénomènes diagenétiques complexes affectant les roches réservoirs du Dogger du Bassin de Paris desquelles sont tirées les ressources géothermiques essentielles de cette région. La biostratigraphie a apporté une contribution décisive à la compréhension de la géologie du Nord du Sultanat d'Oman.

En France, les études entreprises en collaboration avec les équipes universitaires et du CNRS sur les *formations superficielles* de la bordure ouest du Massif central ont contribué à la reconnaissance sédimentologique de ce domaine. En Vendée, une paléographie de l'Yprésien a pu être exprimée. En Bretagne, l'étude des sables rouges, appuyée par deux campagnes de sondages, a permis de localiser plusieurs grabens cachés sous le Pliocène dont les âges précis sont en cours de vérification.

Dans le Bassin de Paris, les relations des meulières et argiles à meulières avec les surfaces d'érosion néogènes et quaternaires ont été précisées [voir RS 1992].

L'activité des biostratigraphes a été soutenue, en particulier dans les Caraïbes, sur le Sénonien du Bassin parisien [voir RS 1991], le Cénomanien de l'Ouest de la France, la stratigraphie du Redonien, le Crétacé et le Jurassique d'Angleterre [voir RS 1993, RS 1994]. Des travaux taxonomiques ont également été menés à bien [voir RS 1995].

Ils ont apporté une contribution tout à fait décisive à la compréhension de la géologie complexe du Nord Oman [voir RS 1972] en étudiant et datant, avec l'appui d'une dizaine de laboratoires extérieurs, 5 000 échantillons : une échelle stratigraphique des séries autochtones et allochtones est désormais disponible.

Les *techniques sédimentologiques* ont été focalisées sur la cathodoluminescence avec des études appliquées, notamment sur les séries du Dogger du Bassin de Paris [voir RS 1997] et sur le traitement informatique des données sédimentologiques.

Bases et banques de données

Le projet Géobanque permettra une consultation facilitée et décentralisée des bases de données sur le sous-sol via le réseau Minitel.

L'essentiel de la recherche et du développement a porté sur la résolution, dans le cadre du projet Géobanque, des problèmes technologiques liés à l'évolution des banques de données factuelles et bibliographiques vers leur exploitation sur le serveur Télésystèmes-Questel, rendant une consultation possible par Minitel dès 1986. L'utilisateur pourra ainsi sélectionner tous les travaux concernant le sujet qui l'intéresse puis commander, pour plus de détails, la photocopie du dossier, ou encore le consulter sur place soit dans le Service géologique régional, soit au Service central de consultations, à Paris [voir RS 2000].

Par ailleurs, les spécialistes du BRGM, ont, avec ceux de l'UISG, participé aux travaux de la commission de documentation, chargée de la publication d'un *thésaurus multilingue en géologie*. L'ensemble du travail a été achevé et sera édité en 1986.

Une banque de données dynamique d'évaluation des sites hydrauliques susceptibles d'être équipés de *microcentrales hydroélectriques*, a été réalisée à la demande de l'AFME pour être utilisée par des non-spécialistes [voir RS 2001].

Valorisation et diffusion des connaissances

Le BRGM, éditeur important dans le domaine des Sciences de la Terre, a poursuivi son action en faveur de la diffusion des connaissances en publiant près de 10 000 pages de textes scientifiques et techniques.

L'activité d'éditeur du BRGM s'est concrétisée par la publication de près de 10 000 pages de texte. Les périodiques ("Géologie de la France, Hydrogéologie, Chronique de la recherche minière") ont été publiés avec régularité et les rétards résorbés. Une vingtaine de titres sont sortis dans la série Documents. En revanche, aucun mémoire n'a été publié, deux volumes seulement dans la série Manuels et méthodes, un dans celle de Promotion de la géologie, domaine où des ouvrages importants ont été cependant préparés pour être édités en 1986. La préparation de bons manuscrits pour alimenter ces séries demande une disponibilité difficile à obtenir.

L'activité traditionnelle de *formation de stagiaires et d'encadrement de thèses* a été poursuivie ; toutefois, les bourses de thèses accordées par le BRGM subissent une diminution régulière de leur nombre qui tient compte des difficultés de trouver des débouchés aux étudiants diplômés.

Les chercheurs du BRGM ont été vivement encouragés à publier leurs résultats scientifiques dans des revues de qualité (voir chapitre D ci-après) ; la politique volontariste conduite dans ce domaine par la direction scientifique porte ses fruits, essentiellement au niveau de la qualité des articles publiés.

MATIÈRES PREMIÈRES MINÉRALES

Sulfures polymétalliques
Hydrothermalisme sous-marin

Les travaux coordonnés terre-mer sur les gisements minéralisés récents et actuels en contexte d'arcs insulaires (Ouest Pacifique) et de rifts (mer Rouge) se sont poursuivis en liaison avec des équipes françaises et apportant d'intéressants éléments à verser au dossier de la modélisation gîtologique. D'intéressants indices Cu-Au ont été découverts au sommet de la série ophiolitique du Nord Oman.

1 - Hydrothermalisme actuel et récent

L'objectif fixé aux projets est de replacer les minéralisations dans le cadre général de l'évolution géodynamique de leur environnement, arc insulaire et bassin arrière arc pour le *chantier Ouest Pacifique* [voir RS 2005, RS 2006], rifts pour le *chantier mer Rouge* [voir RS 2002, RS 2003, RS 2004] puis de comparer à ces modèles actuels et récents les manifestations minéralisées anciennes pour en faire progresser la gîtologie et la métallogénie.

En ce qui concerne l'Ouest-Pacifique, les travaux ont été conduits dans le cadre du GIS "Océanologie et géodynamique" de Brest. Une campagne océanographique, SEAPSO II, ayant pour objet l'étude du contexte géodynamique et hydrothermal sous-marin des arcs insulaires des Nouvelles-Hébrides et des Fidji a précédé une mission de reconnaissance géologique et gîtologique aux Fidji.

En mer Rouge, la campagne GEOMEROUAD a permis de préciser les structures et l'histoire géologique de la partie nord de cette mer et d'identifier divers stades d'océanisation. Un important travail a été consacré à la préparation du programme de forages profonds ODP, tant au plan français qu'international.

Le fractionnement des élément en trace, présents dans les sulfures sous-marins actuels de la ride Est-Pacifique, a été comparé à celui observé dans leurs analogues fossiles de Chypre [voir RS 2008].

2 - Minéralisations sulfurées volcano-sédimentaires

C'est sur le *gîte de Chessy* [voir RS 2009] et son environnement, dans le Rhône, que d'importantes études sur les amas sulfurés ont été poursuivies : étude des stockwerks et des altérations hydrothermales, dans la perspective de rechercher des signatures spécifiques, susceptibles de caractériser des amas riches dans l'ensemble du district de la Brévenne. Des résultats intéressants ont été obtenus. D'autres travaux ont porté sur le synclinal de *St Georges-sur-Loire* (Vendée-Bretagne) et sur le *Nord du Sultanat d'Oman* [voir RS 1967, RS 1973] où la prospection du sommet de la pile ophiolitique a permis d'accrocher deux impacts Cu-Au suffisamment attractifs pour justifier des investigations complémentaires.

En Afrique, un programme pluridisciplinaire, sur le *Birrimien*, orienté vers la compréhension du cadre géostructural des séries volcano-sédimentaires et des minéralisations aurifères associées a été mis en route. Des travaux sur le terrain ont permis de confirmer, dans ses grandes lignes, la position des *minéralisations aurifères* dans la séquence proposée des unités lithologiques birrimiennes.

Au Soudan, des recherches stratigraphiques et structurales sur le district à *amas sulfurés et or d'Ariab*, apportent des idées nouvelles facilitant l'insertion des minéralisations observés dans un schéma géologique et gîtologique cohérent [voir RS 2010].

Minéralisations liées aux granitoïdes Hydrothermalisme continental

Le modèle simplifié d'un nouveau type de gisements aurifères a été élaboré : "les shear zones aurifères" qui permet un meilleur diagnostic précoce des structures prospectées.

1 - Gîtes de départ acide

Dans le cadre d'un contrat CCE, le *district d'Enguialès* [voir RS 2012] a fait l'objet de travaux sur les liaisons pouvant exister entre la mise en place des filons à W et celle de leucogranites particuliers, caractérisés par des teneurs anomales en Sn, W, Rb et à faible contenu en terres rares.

Le matériel et les données récoltées lors du forage GPF dans la coupole leucogranitique d'Echassières et dont l'étude approfondie a débuté en 1985 apporteront des éléments primordiaux pour l'étude des minéralisations Li-Sn associées et présentes sur toute la colonne reconnue.

2 - Minéralisations aurifères

L'effort consenti sur *la typologie des quartz aurifères* depuis 4 ans s'est matérialisé en 1985 ; il permet désormais de présenter un modèle simplifié d'une nouveau type de gisement "les shear zones aurifères", type qui rassemble de nombreux gîtes antérieurement définis comme de remplissage filonien [voir RS 2014]. L'or, dans les zones broyées de roches variées, est lié à un faciès particulier de quartz dont la reconnaissance permet un diagnostic précoce sur l'intérêt des structures prospectées ; cet intérêt peut être confirmé par des techniques plus fines fondées sur une géochimie multi-élémentaire et une caractérisation des pétrofaciès minéralisés. La validité de ce modèle typologique semble confirmée par des orientations réussies de prospections en cours.

D'autres études ont porté sur la géochimie des fluides associés aux minéralisations du Mali [voir RS 2015], sur le cadre géologique de prospects gabonais [voir RS 2016, RS 2017], et sur la géochimie des fluorines associées aux minéralisations aurifères du Colorado [voir RS 2013].

3 - Métallogenèse des granitoïdes

L'utilisation des *éléments en trace* pour discriminer les complexes stériles et ceux porteurs de minéralisations a fait l'objet d'une action concertée, appuyée par la CCE, associant l'univeristé P. et M. Curie, l'Ecole des mines de St Etienne et le British Geological Survey ; un outil géochimique pour la prospection de Sn-W-Nb-Ta... par éléments en trace (Terres rares, Th, Ta) ξ/Cs a été proposé [voir RS 2011] à la suite d'une recherche également soutenue par les fonds de la CCE.

Une *typologie des gisements de Terre rares* donne, par le biais de données gîtologiques et économiques, les quatre grands groupes de gisements dont certains pourraient devenir des cibles favorables en cas d'accroissement de la demande [voir RS 2018].

Le GIS BRGM/CNRS a fait avancer nos connaissances sur le rôle du *chlore* dans les bains magmatiques et les fluides hydrothermaux qui s'en échappent [voir RS 2019].

Gîtes de couverture

L'achèvement des travaux de synthèse sur Bou-Grine, en Tunisie, montre qu'il s'agit d'un type nouveau de gisement Pb-Zn lié à une activité tectonique syn-sédimentaire péri-diapirique.

En Tunisie, une synthèse a permis de saisir les leçons de l'ensemble de sept ans de travail géologique et gîtologique sur Bou-Grine, travail mené conjointement avec l'ONM [voir RS 2031]. Ce gisement, désormais bien circonscrit, apparaît comme un nouveau type de concentration formé de shales noirs minéralisés (riches en matière organique) et d'un amas sécant, riche, formant la partie centrale du gisement. L'analyse du gisement et de son environnement révèle le rôle important joué par une tectonique syn-sédimentaire précoce péri-diapirique.

D'autre part, une approche de géologie structurale a été tentée au Jebel Lorbeus, dans la chaîne du Kef (Tunisie) ; elle permet de mettre en évidence des phases successives de compression et de distension tout au long du Crétacé et du Tertiaire [voir RS 2032].

En Montagne Noire [voir RS 2029], les travaux relatifs au contrat CCE pilotés par l'Université de Toulouse ont été achevés ; ils confirment l'existence de minéralisations plombo-zincifères précoces sur le versant sud, et zincifères sur le versant nord. Elles sont de faible importance économique et leur caractère exhalatif sédimentaire n'a pas été confirmé. Le gisement de la Rabasse, le plus important, est un amas de substitution en relation avec le magmatisme calco-alcalin tardi-hercynien.

Sur la bordure cévenole [voir RS 2028], l'étude des caractères diagenétiques a permis de trouver une relation entre phases diagenétiques et les étapes de structuration des bassins. Dans le cadre de l'ATP "diagenèse des réservoirs", les travaux portaient sur les processus diagenétiques contrôlant la porosité dans les séries gréseuses du Trias de l'Ardèche [voir RS 1996, RS 1998].

Au Yemen, la matière organique dans le gisement de Jabali a fait l'objet de recherches en liaison avec l'université d'Orléans [voir RS 2030].

Minéralisations liées aux roches basiques et ultra-basiques

Des progrès ont été réalisés dans le domaine de la métallogénie des platinoïdes : sur des bases minéralogiques, une approche originale de la typologie des gisements de ces métaux est proposée.

C'est essentiellement le GIS BRGM-CNRS qui est chargé de mener des recherches sur les *mécanismes métallogéniques* dont la compréhension est indispensable pour la mise au point de nouvelles approches de la prospection de cibles difficiles telles que les chromites ophiolitiques, les platinoïdes... Les études sur échantillons naturels sont souvent complétées par une modélisation expérimentale qui permet d'étayer les hypothèses génétiques proposées.

Les études sur la compréhension des mécanismes de formation et de mise en place des *corps de chromitite* dans un complexe ophiolitique, qui bénéficient d'appui de la CCE et qui pont porté comparativement sur les sites du Sud de l'Oman, de Chypre, de Grèce et de Nouvelle-Calédonie [RS 2021, RS 2024, RS 2025, RS 2027] ont permis de progresser dans la classification des ophiolites, de mieux cerner les problèmes de répartition des chromitites riches dans les ceintures ophiolitiques en liaison avec leurs variations magmatiques, minéralogiques et les inclusions fluides ; sur un plan théorique, le rôle d'une phase fluide réductrice dans la genèse des chromitites paraît confirmé.

Des progrès sur les connaissances relatives à la *métallogenèse des platinoïdes* ont été acquis avec une aide financière de la CCE : les différences minéralogiques des platinoïdes constatées dans les différents complexes ophiolitiques permettent d'approcher les typologies originales et complexes de ces gisements [voir RS 2026].

Des travaux détaillés menés sur les complexes d'Afrique du Sud et du Manitoba [voir RS 2022] (Canada) conduisent aussi à démontrer des différences de composition significatives des assemblages minéralogiques des platinoïdes. Signalons également une étroite collaboration du GIS avec l'Académie des Sciences de Beijing (Chine) sur l'étude du complexe ultrabasique de Jin-Chuan.

Enfin des approches géochimiques, pétrographiques et structurales des différentes massifs ophiolitiques ont été tentées [voir RS 2020 et RS 2023].

Signalons que deux méthodes d'analyse des platinoïdes ont développées avec succès [voir le paragraphe sur le thème "Recherche sur les techniques analytiques"].

Matériaux

Une technique originale de prospection géochimique de lentilles de calcaires masquées a été expérimentée en Bretagne (recherche d'amendements).

Pour satisfaire les besoins bretons d'amendements calco-magnésiens, et compte tenu du caractère erratique de la dispersion des lentilles calcaires non-affleurantes dans les schistes, une approche par prospection géochimique a été tentée. Les carbonates, au moins dans le secteur étudié (Finistère) signalent leur présence par des anomalies Zn-Co et Ni, parfois Mn. On montre que les données géochimiques permettent, après un traitement statistique approprié, de délimiter les zones où les calcaires sont présents sous un certain recouvrement (voir RS 2033).

AMÉNAGEMENT ET GESTION DE L'ESPACE SOUTERRAIN

Eau

C'est sur les ressources en eau des milieux fissurés et leur pérennité, notamment dans les pays arides et semi-arides, que d'importantes recherches appliquées ont été menées.

1 - Hydrogéologie des milieux fissurés

Une chaîne de techniques associe largement recherche et opérations de développement. On y distingue :

– travaux sur l'*amélioration des techniques* : expérimentation de diverses approches géophysiques combinées avec la localisation de failles par prospection radon [voir RS 2034], pour laquelle des résultats intéressants ont été obtenus au Botswana et en Guyane ; valorisation des forages par la saisie précoce des données à l'aide de la chaîne HIVI ; traitement et valorisation des données grâce à un support informatique plus convivial ; poursuite des études sur sites (emploi des tests de pompage pour déterminer les paramètres représentatifs de l'aquifère [voir RS 2035] et suivi de la réalimentation par infiltration d'un site en Guyane [voir RS 2036]).

– des recherches sur l'*alimentation des nappes en milieu aride ou semi-aride* (par exemple, mise en place d'instruments de mesure du signal sur les sites pilotes du Burkina-Faso et du Togo, pour permettre une quantification de paramètres liés à la recharge) ;

– un effort de *cartographie des ressources en milieu fissuré africain*, par l'utilisation d'une méthodologie de cartographie décisionnelle, associant plusieurs paramètres significatifs ;

– une réflexion sur de nouveaux modes d'utilisation des eaux souterraines pour l'irrigation de petits périmètres agricoles (en association avec le CIRAD et le GERSAR).

2 - Informatique hydrogéologique

L'évolution des techniques informatiques conduit à développer de manière continue de nouveaux outils ou à adapter les anciens. Des recherches ont porté sur : la cartographie automatique (logiciel LUCAS) qui permet d'éditer des tableaux et des cartes en noir et blanc ou en couleur d'une ou plusieurs variables connues ; la modélisation des écoulements pour l'aménagement de zones inondables [voir RS 2039] ; le développement de logiciels spécifiques aux opérations d'hydraulique villageoise ; la mise au point de logiciel de conception assistée par ordinateur destinés à la gestion de champs de captage [voir RS 2037], à la définition des coupes techniques et à la prévision des coûts des forages d'eau [voir RS 2038, RS 2042] et à la réalisation de systèmes de chauffage par pompes à chaleur couplées à un dispositif thermique du sous-sol (aide AFME).

3 - Eaux thermo-minérales

Au cours de 1985, ont été lancés des projets de recherche, essentiellement sur les *processus hydrothermaux en milieu de socle*, focalisés sur le site de Cauterets et aboutissant à une meilleure typologie des systèmes sulfureux (aide de la région Midi-Pyrénées).

Une opération de *détection des circulations d'eaux thermo-minérales par analyse des gaz du sol* [voir RS 2043] a été menée, en prenant en compte les expériences réalisées pour d'autres finalités, sur plusieurs sites. Elle montre l'adéquation de l'outil aux divers contextes : tous les environnements de sources thermales ou minérales, en socle ou dans les séries sédimentaires, offrent des anomalies gaz qui se distinguent indiscutablement du "bruit de fond" général.

La nécessité d'avoir une connaissance immédiate de la *composition des fluides produits* durant les forages ou les essais de pompages de nouvelles ressources, a conduit à développer un système programmable d'acquisition numérique de différents paramètres physico-chimiques. Ce système peut être adaptée au suivi des exploitations [voir RS 2044].

4 - Autres ressources d'eaux souterraines

Les études des ressources en eau de la *Guadeloupe* ont été conduites en mettant en oeuvre des techniques classiques d'investigation hydrogéologique ; elles conduisent [voir RS 2040] à l'élaboration d'un modèle de simulation des écoulements sur un bassin versant caractéristique et permettent une estimation de l'infiltration annuelle moyenne vers la nappe.

Les recherches sur le *potentiel hydrogéologique du val d'Allier* se sont poursuivies, notamment en éclairant les particularités de cette vallée par son histoire géologique détaillée [voir RS 2041].

Avec l'aide de la CCE, des études sur les variabilités du climat européen et l'évaluation des ressources en eau pour l'aménagement ont été entreprises.

Hydrogéochimie - Qualité des eaux souterraines - Interactions eau-roche

Les outils informatiques rendent de précieux services pour prévoir l'évolution de la qualité des nappes d'eaux souterraines face aux pollutions qu'elle subissent.

1 - Prévision et prévention des pollutions, qualité des eaux souterraines

Cet important ensemble d'actions concertées avec le ministère de l'environnement et soutenues par lui est orienté sur l'étude et la compréhension des mécanismes de transfert des polluants dans les eaux souterraines de façon à mettre à la disposition des collectivités, les informations indispensables à la gestion des ressources dont elles disposent et dont elles sont comptables.

Dans cet ensemble, on distingue des actions visant :

– *au constat des pollutions actuelles* : essai de cartographie automatique des teneurs en nitrates dans cinq départements tests du bassin Seine-Normandie ; relations pollution-activité agricole en Alsace [voir RS 2056] ; amélioration des techniques de prélèvements [voir RS 2052].

– *à la conception d'outils de prévision du devenir de la qualité des nappes* : recherches sur des modèles de prévision des teneurs en nitrates de sources [voir RS 2054] ou de nappes [voir RS 2045, RS 2046, RS 2053 et RS 2055].

– *à l'étude des processus de dénitrification naturelle* notamment dans le cadre d'une action concertée du Comité Eau du ministère de l'environnement [voir RS 2050].

– *à l'appréciation des effets-filtre des berges* [voir RS 2048], et des transferts de micro-polluants sur le site expérimental de Balloy [voir RS 2067].

– *à la mise au point de mesures de prévention et/ou d'amélioration* de la qualité des eaux [voir RS 2049, (recherche à frais partagés avec la CCE et le ministère de l'environnement), voir RS 2047 et RS 2051].

2 - Hydrogéochimie - Interactions eau-roche

Dans le domaine des *applications de l'hydrogéochimie à la prospection minière*, une étude expérimentale, réalisée dans le cadre d'une thèse sur la dissolution des sulfures en milieu oxydant [voir RS 2057], a permis de mettre en évidence que l'hydraulique en milieu acide favorise la libération des métaux. A contrario, dans un milieu plus basique, les éléments métalliques ont tendance à précipiter et sont donc moins abondants dans les produits de dissolution. L'interprétation des données expérimentales en termes cinétiques permet de calculer des vitesse de dissolution différentes pour chacun des minéraux sulfurés.

Une technique de *diagraphie géochimique* [voir RS 2058] a été essayée sur le forage S2 du Cézallier (GPF). Les résultats de cette diagraphie montrent que les venues repérées au cours de la foration ont pu être détectées de 5 à 25 m avant d'être traversées par la couronne du carottier, les eaux minéralisées modifiant, par diffusion dans les micro-fractures, la composition des boues de forages.

Des travaux sur la *géochimie de l'arsenic* dans les solutions thermo-minérales [voir RS 2059] en font apparaître toute la complexité mais semblent confirmer l'hypothèse selon laquelle l'arsenic trivalent domine dans les fluides directement liés à un système géothermal.

Environnement

Les travaux réalisés pour des agences internationales sur l'érosion côtière de l'Afrique de l'Ouest montrent que les hypothèses habituelles sur ce phénomène ne rendent pas complètement compte de la complexité des faits observés.

1 - Erosion, transport, sédimentation

Le projet pluriannuel de recherche du goupe d'études BRGM/ORSTOM (subventions de la région PACA, de l'ESA et du ministère chargé de la recherche) sur l'étude des processus d'altération, d'érosion et de transports sédimentaires, sur l'évaluation et la simulation des flux liquides et solides à l'exutoire de quatre *bassins versants expérimentaux* des Hautes-Alpes, a été poursuivi [voir RS 2062]. Les bassins ont été équipés pour la mesure des paramètres hydroclimatiques et le système de télétransmission par satellite METEOSAT a été testé avec succès.

Les conclusions des travaux sur l'érosion côtières en Afrique de l'ouest (projet PNUE-UNESCO-ONU-DAES) conduisent notamment à recommander la poursuite de levés, les phénomènes observés [voir RS 2060, RS 2061] s'avérant complexes et les hypothèses actuelles ne permettant pas d'en rendre compte correctement. Des approches théoriques sur la houle se sont inscrites dans ces travaux [voir RS 2063].

2 - Gestion des déchets industriels

L'étude sur la *migration des effluents issus d'une décharge industrielle* (recherches à frais partagés avec le ministère de l'environnement) (site de Mézières), entreprise en 1978, a été achevée [voir RS 2064]. Parallèlement, une recherche s'est poursuivie sur la migration des hydrocarbures dans un sol non saturé (site de Balloy) [voir RS 2067] avec d'intéressantes observations sur les migrations de micropolluants dans les nappes. On a également cherché à évaluer l'impact chimique et bactériologique d'un dispositif permettant de diminuer l'impact des rejets en rivière d'une station d'épuration, en intercalant entre station et rivière un bassin de lagunage créé dans une ancienne ballastière [voir RS 2065] ; les résultats se révèlent encourageants.

3 - Métaux lourds

Pédologie et géochimie sont à la base d'un travail mené à Lausanne par un chercheur détaché pour un an sur le comportement des métaux lourds dans différents sols du bassin du Léman [RS 2068] ainsi que sur leur toxicité lorsqu'ils sont mobilisés à partir des boues et composts issus de l'activité urbaine [voir RS 2066].

Enfouissement profond des déchets radioactifs

L'étude d'objets géologiques comme les gîtes minéraux, apporte des moyens intéressants de contrôler certains paramètres relatifs au comportement migratoire d'éléments chimiques tels qu'ils peuvent être calculés grâce aux modèles théoriques.

1 - Connaissance du milieu naturel profond

L'action de recherche à frais partagés avec la CCE a permis la présentation d'un document de synthèse sur l'examen des objets géologiques, ici les gîtes minéraux, comme *analogues naturels* de scénarios possibles de migration d'éléments chimiques dans l'environnement proche ou lointain d'un stockage profond de déchets radioactifs [voir RS 2069] ; une des contributions importantes de cette étude réside dans la possibilité de comparaison des paramètres mesurés avec les données obtenues par les calculs de modélisation qui peuvent être ainsi testés.

Pour le compte du CEA/IPSN, les travaux, menés depuis plusieurs années sur les effets d'échelle, livrent des résultats instructifs sur les *directions et les vitesses d'écoulement des fluides en milieu granitique fracturé.*

2 - Géoprospective

Les sujets concernés sont nombreux dans un domaine qui exige des réflexions approfondies (recherche à frais partagés avec la CCE) ; en 1985, des méthodes géomorphologiques ont été mises au point pour mieux comprendre et évaluer les mouvement tectoniques récents [voir aussi Résumés scientifiques 1984, RS 1745].

3 - Développements technologiques

L'application des techniques géophysiques en milieu granitique fracturé a consisté en une contribution à la mise au point d'une sonde "ondes radio" et une expérience radar dans la mine de Salau ; les travaux sur la *sonde photo-élastique de mesures de contraintes* en forages, réalisés avec une aide de la CCE ont été achevé [voir RS 2070] : la mesure des contraintes en sondage par surcarottage a demandé la mise au point d'un modèle de sonde fondé sur ce principe et utilisant une mesure des déformations par photo-élasticité ; de bons résultats ont été obtenus pour la définition des directions des contraintes.

Fracturation

Des tests d'écoute de la micro-fracturation hydraulique provoquée ont été menés avec d'autres organismes intéressés. Des résultats appréciables ont été obtenus.

D'importants projets s'attachent à l'étude de la fracturation à différentes échelles : observation de la fracturation naturelle, modalités naturelles ou artificielles de la génération des fractures... Ces travaux trouvent des applications dans la plupart des filières, géothermie, recherche minière, aménagement, risques naturels, etc. Des outils de reconnaissance, utilisant divers paramètres, sont développés. En liaison avec le Lawrence Berkeley Laboratory et l'appui de l'AFME, des travaux ont été menés sur les *facteurs de régionalisation de la fracturation*, celle-ci obéissant en effet à une certaine organisation qu'une étude variographique permet de mettre en évidence [voir RS 2074]. Ces études sont conduites dans le cadre du programme nationale Géothermie profonde généralisée et permettent de mieux cerner le problème des écoulements de fluides.

Trois organismes, le CEA (CESTA), l'IFP et le BRGM ont mené avec l'aide financière du MRT (recherche à frais partagés) des *tests de fracturation hydraulique* dans le Comblanchien de Bourgogne. Pendant les tests, les évènements microsismiques ont été enregistrés grâce à des dispositifs d'écoute et d'acquisition de données adaptées. Parmi les résultats obtenus, on note celui concernant la possibilité de localiser des évènements de fracturation à faible profondeur [voir RS 2072].

Dans le cadre d'une thèse, des recherches se sont poursuivies [voir RS 1870, Résumés scientifiques 1984] sur la morphologie et le *comportement hydromécanique d'une fracture naturelle dans un granite* sous contrainte normale [voir RS 2073]. Elles font appel à des essais en laboratoire et des traitements de données géostatistiques, qui conduisent à des modèles de comportement discutés par rapport à d'autres modèles existants.

Géotechnique

Une thèse sur le *comportement mécanique des argiles congelées* a pu mettre en évidence le rôle fondamental de la fraction non gelée de l'eau interstitielle (application aux sites de stockage des déchets nucléaires ; collaboration avec le CSN de Mol, en Belgique) [voir Résumés scientifiques 1984, RS 1858].

Les variations locales de faciès ont une importance déterminante sur la stabilité des carrières souterraines de l'Entre-deux-Mers ; c'est ce qu'une autre thèse a pu démontrer [voir RS 2086].

Un réseau d'auscultation mis en place dans la mine de Salsigne permet de suivre le comportement des terrains dès le début d'une mise en exploitation par sous-niveaux abattus [voir RS 2085].

Une cartographie géotechnique détaillée apporte une contribution décisive au plan d'occupation des sols des agglomérations : un exemple illustre cet apport au P.O.S. de la ville de Corbeil-Essonnes [voir RS 2084].

L'aménagement du Grand-Louvre, à Paris, a nécessité, en complément aux travaux géotechniques [voir Résumé scientifique 1984, RS 1882], des recherches sur les écoulements des eaux souterraines qui ont conduit à modifier les projets [voir RS 2083].

Prévision et prévention des risques naturels

Un travail mené sur le nouveau zonage sismique de la France donne des éléments détaillés sur les méthodes de calcul appropriées aux différents sites et sur les éléments à prendre en compte dans les constructions parasismiques.

1 - Eboulements et glissements de terrain

Des améliorations substantielles ont été apportées à la modélisation de la *trajectoire des blocs rocheux sur une pente naturelle* [voir RS 2075]. Des plans d'expositions aux risques sont préparés à la demande de la DRM sur des sites choisis en fonction de leurs caractéristiques exemplaires [voir RS 2076].

2 - Risques volcaniques - Risques sismiques

Sur invitation de la DRM et d'organismes scientifiques italiens, les techniques d'analyse in situ des gaz des sols mises au point au BRGM, ont été testées sur plusieurs champs volcaniques italiens (Vésuve, Champs Phlégéens, Etna) pour la caractérisation géochimique de l'activité des fractures ; trois composantes des atmosphères des sols présentent des variations de concentration paraissant liées aux structures tectoniques sous-jacentes (He, CO_2, Ar) ; une analyse des comportements de ces trois gaz permet de distinguer les fractures banales de celles liées à des anomalies thermiques [voir RS 2077].

Dans le cadre d'une coopération franco-portugaise, une campagne *de validation du dispositif d'écoute micro sismique* mis au point au BRGM s'est déroulée aux Açores (caldeira de Furnas,Sao Miguel). Un enregistrement sélectif des micro-séismes a permis une pré-localisation quasi-immédiate (1 mn) des évènements [voir RS 2079]. A Florès, dans le même archipel, des études pétrographiques permettent d'analyser le potentiel éruptif et géothermique de deux édifices [voir RS 2098].

De récents travaux de terrain dans le massif du Piton des Neiges à la Réunion ont permis de mettre en évidence un épisode ignimbritique majeur daté de 188.000 ans, important pour la compréhension du comportement de cet édifice actif [voir RS 2078].

L'exploitation des données fournies par le premier *enregistrement par une réseau d'accéléromètres*, sur territoire français, d'une secousse sismique (intensité VI) au NNW de la Guadeloupe a permis de localiser l'épicentre (profondeur inférieure à 10 km), de vérifier, en certains points, les lois d'atténuation classiques, alors qu'en d'autres lieux (Pointe-à-Pitre, notamment) d'importantes amplifications ont été relevées. Des informations utiles à l'élaboration des plans d'exposition aux risques ont été ainsi recueillies [voir RS 2080].

Une contribution à l'*étude numérique de la propagation des ondes sismiques* dans les formations géologiques superficielles a permis de dégager des règles applicables à différentes configurations, notamment celles correspondant à des milieux saturés [voir RS 2082]. Les recherches (contrat d'aide à frais partagés avec le ministère chargé de la recherche) se sont poursuivies sur la correspondance entre les paramètres de la loi élasto-plastique et ceux de la mécanique des sols classique pour l'étude des petites et grandes déformations dans les milieux mono et biphasiques.

Un travail sur le *nouveau zonage sismique de la France* [voir RS 2081], réalisé à la demande de la DRM a été présenté ; il comporte des éléments concernant les paramètres à prendre en compte dans les modèles de calcul et les projets de constructions parasismiques.

ENERGIES

Combustibles solides

La reconnaissance par forages sous recouvrement tertiaire du gisement de charbon de Lucenay (Nièvre), pour étude d'exloitabilité, a donné lieu à des travaux scientifiques connexes sur le charbon et les formations associées.

Comme l'année précédente, au titre de l'inventaire charbonnier du territoire national, les travaux de prospection se sont poursuivis sur les *gisements de lignites des Landes* et de *charbon de la Nièvre* [voir RS 2087] où les analyses physico-chimiques et les premiers essais semi-industriels effectués, confirment la bonne qualité du charbon reconnu en couche épaisse à faible profondeur (ép. moyenne du charbon 56 m sous un stérile de 200 à 260 m) ; les réserves en place sont estimées à 60 Mt. La valorisation des données lithologiques obtenues s'est faite par le biais de leur traitement géostatistique, tandis que des études géochimiques étaient conduites sur les cinérites.

Une monographie sur les bassins houilliers du Massif central a été réalisée pour ce qui concerne les gisements du bassin de Rodez, de Figeac, la Capelle, Graissessac [voir RS 2088], Alès...

La présence de *bassins de lignite* a été confirmée au Sénégal [voir RS 2089].

Energies nouvelles

Une attention particulière a été portée à la connaissance et à la maîtrise des paramètres régissant la fiabilité des exploitations géothermiques basse énergie : corrosion, techniques d'exhaure, réinjection... Un projet a été préparé pour une étude approfondie, sur un forage-test en Alsace, des conditions d'échanges thermiques et hydrothermiques d'un massif fracturé profond.

1 - Production de chaleur par géothermie basse énergie

Les recherches se sont poursuivies en partie avec l'aide de la CCE sur les *effets de colmatage à la réinjection des fluides géothermiques*, obstacle majeur à l'exploitation de l'aquifère du Trias argilo-gréseux dans le bassin de Paris ; la réalisation d'un percolateur expérimental à grand débit a permis de soumettre plusieurs types de grès à une première campagne de tests représentatifs, par branchemnt direct sur l'exhaure des installations géothermiques de Melleray (Loiret). Une connaissance précise des causes et des mécanismes du colmatage est, en effet, indispensable pour proposer et expérimenter des remèdes.

Des études ont été engagées sur la présence et l'abondance, dans les fluides géothermaux, des *espèces chimiques à pouvoir de corrosion élevé* (Cl-, HS-, HCO_3-) ; un pilote de corrosion, utilisable sur site, a été réalisé et testé. Les informations sur la composition des fluides et les essais expérimentaux permettent d'évaluer les risques de dégradation, à terme, des installations géothermiques et d'orienter le choix des matériaux, métalliques ou composites, à utiliser pour les prémunir contre ce risque.

Les investigations sur des systèmes d'exploitation par gas-lift recyclé [voir RS 2092], destiné à remplacer les pompes facilement corrodées se sont poursuivies, notamment par le calcul informatisé des paramètres physiques fondamentaux.

Les travaux détaillés menés sur les réservoirs du Dogger du Bassin de Paris [voir Résumés scientifiques 1984, RS 1899 à RS 1901], montrent qu'ils ne peuvent plus être considérés comme globalement homogènes, mais bien comme des milieux stratifiés dont les niveaux de production et la composition chimique des fluides sont hétérogènes [voir RS 2091].

2 - *Géothermie haute énergie*

Des résultats importants pour la méthodologie de la prospection ont été obtenus aux Antilles. En particulier, le dispositif *d'exploration géophysique magnéto-tellurique et écoute sismique* [voir RS 2097], mis au point par l'IMRG, a prouvé ses capacités sur le champ géothermique de Bouillante (Guadeloupe).

En coopération avec le Portugal, il a été proposé la mise en place, avec ce dispositif, d'un *réseau d'écoute sismique* sur le site géothermique potentiel de Furnas, dans l'ile de Sao Miguel, aux Açores [voir RS 2079].

En *géochimie*, trois axes ont été développés : la mise au point méthodologique d'un préleveur et analyseur léger de gaz dans les sols (He, CO_2, Rn, CO) ; des études sur l'emploi de méthodes isotopiques nouvelles ($^3He/^4He$, en collaboration avec l'université de Cambridge) ; enfin des tests de longue durée d'un laboratoire mobile d'analyses géochimiques ont été ménés avec succès dans le cadre du programme GPF sur le site de forage du Cézallier [voir RS 2058] ; des solutions ont été trouvées au problème de la séparation de l'eau à analyser des additifs de forage.

Un programme de développement de *modèles hydrodynamiques et thermiques d'échanges eau-roches en milieu fracturé* a été lancé, dans le cadre du programme GPG. Le programme est basé sur l'analyse de modèles de convexion naturelle par la voie d'une identification géométrique des fractures et leur description statistique, à partir d'un site-test, celui de Soultz-sous-Forêts [voir RS 2093] en Alsace, sur lequel un forage expérimental devrait être réalisé avec l'appui de la CCE et la collaboration des chercheurs de la RFA.

En *volcanologie*, des études ont été conduites en Martinique, sur la Montagne Pelée [voir RS 2094 et RS 2095], sur la chaîne sous-marine de Vauclin-Pitault voir RS 2096] et aux Açores, sur l'île de Florès [voir RS 2098].

3 - *Stockage de chaleur - Pompes à chaleur*

Une étude technico-économique du projet de *stockage thermique en aquifère à Sarcelles*, basé sur le stockage puis la restitution en hiver de l'énergie thermique d'une usine d'incinération d'ordures ménagères, a permis d'aborder les nouveaux problèmes spécifiques qui se posent : comportement des constituants du système, contrôle du déséquilibre physico-chimique des fluides etc. [voir RS 2101]. Toutefois, la baisse des coûts énergétiques est venue marginaliser ce projet au moment où il était prêt à être lancé.

Enfin des travaux originaux concourrent à une *optimisation de l'emploi des pompes à chaleur* sur aquifère, soit sous la forme de documents de cartographie régionale [voir RS 2099], soit sous la forme d'études sur le comportement chimique des fluides mis en oeuvre [voir RS 2100], soit en développant des méthodes nouvelles de gestion, comme dans la région de Strasbourg [voir RS 2090].

RECHERCHES SUR LES TECHNIQUES

Télédétection

Des correspondances sont mises en évidence entre les données thermiques et certaines structures profondes, pour lesquelles la télédétection thermique apparait comme un moyen supplémentaire de reconnaissance. L'amélioration des techniques de traitement d'images élargit le champ des applications de la télédétection.

Deux projets principaux ont fait l'objet de recherches en 1985.

Le premier, relatif à l'étude des *réponses spectrales* de divers terrains, a vu des travaux sur la *télédétection thermique*, appliquée au Bassin parisien, aux Landes [voir RS 2105], au Massif armoricain et au bassin houiller stéphanois [voir RS 2106]. L'ensemble de ces travaux montre, après corrélation avec les données géophysiques et géologiques, l'utilité du thermique (HCMM-NOAA) par comparaison des images de jour et de nuit, dans la reconnaissance des structures profondes ou des zones de drainage ; cette technique complète heureusement les renseignements fournis par les images dans le visible. Une *étude multitemporelle et géobotanique* a été menée dans le Massif armoricain et en Grèce avec des mesures radiométriques au sol (aide CCE) ; d'importants résultats ont été obtenus sur la signature de différents sols, notamment ceux liés à des anomalies géochimiques. Enfin, les *simulations SPOT* sur la Nouvelle-Calédonie [voir RS 2104] et la Provence ont permis des corrélations intéressantes entre signature radiométrique et différents objets géologiques.

Le second projet visait à *l'élaboration du traitement d'images* [voir RS 2103] pour étendre les applications de la télédétection à de nouveaux domaines ; ainsi, une thèse a-t-elle été soutenue sur l'étude des sols et des formations superficielles par télédétection ; d'autres travaux ont porté sur des applications à l'aménagement (évolution du littoral, voir RS 2062) et à la prospection hydrogéologique en zones arides [voir RS 2107].

Recherches sur les techniques géophysiques

Une méthode de prospection électromégnatique (MELIS) adaptée aux reconnaissances profondes a été mise au point et testée avec succès sur site.

Le progiciel GMI-PACK constitue un excellent exemple d'une recherche fondamentale dans le *domaine des champs de potentiel* qui a débouché, en 1985, sur des applications commerciales, lesquelles, en retour amènent à approfondir la recherche de base en étudiant la *modélisation combinée gravimétrie-magnétotellurique*. Le BRGM dispose en effet maintenant d'une compétence notable en magnétotellurique avec le système PHOENIX d'une part et la chaîne de signaux naturels développés par l'IMRG d'autre part : des comparaisons sur site de moyenne profondeur (1 000 m) ont été effectuées entre les deux dispositifs qui s'avèrent comparables.

Alors que sur le thème "diagraphie" les recherches de base sont terminées, elles se poursuivent sur le thème "*géophysique de forage*" (exploration de "volumes" autour d'un forage ou entre deux forages) : la modélisation des méthodes électroniques a, en particulier, fait l'objet d'un effort important.

Enfin, *un système électromagnétique* MELIS a été développé (avec l'aide CCE). Cette méthode offre une meilleure résolution sur les objectifs miniers profonds ; le système MELIS [voir RS 2109] mesure à la fois l'amplitude et le déphasage entre deux composantes du champ. La méthode a été testée sur l'amas sulfuré de Bodennec avec des résultats positifs et cohérents compte-tenu des données déjà disponibles sur ce gisement

Recherches sur les méthodes de la prospection géochimique

Les spécialistes de différents unités ont joint leurs expériences pour produire le logiciel SYNERGIE, permettant saisie, combinaison, traitement et visualisation de données d'origines diverses pour une meilleure synthèse de l'information.

1 - Valorisation des données de la prospection géochimique

Les *synthèses géochimiques* régionales [voir RS 2112] visent à valoriser la grande quantité d'informations déjà disponibles ; elles ont un caractère multidisciplinaire et procèdent par l'interprétation de descripteurs multiples de façon à générer des documents thématiques. L'outil informatique nécessaire à ces manipulations synthétiques, le *logiciel SYNERGIE*, est né en 1985 de l'effort conjoint de plusieurs unités. Il autorise de nombreux traitements statistiques ou d'images [voir RS 2111] de données géologiques, géochimiques, géophysiques et de télédétection et une visualisation idoine. Des applications expérimentales ont intéressé différents pays et régions.

Une *synthèse géochimique de la Nouvelle-Calédonie* [voir RS 2113] a pris en compte le traitement informatique de plusieurs milliers de résultats et vient en appui à la cartographie géologique en complétant les lacunes liées au manque d'affleurements, et à la recherche minière en permetant la liaison entre caractères géochimiques et faciès.

2 - Prospection géochimique en milieu tropical

Une forte activité s'est maintenue dans ce domaine, en collaboration avec les universités de Poitiers, de Strasbourg et l'ORSTOM ; des travaux en commun ont été engagés sur le terrain, au *Gabon* [voir RS 2114] et au *Mali*. Dans le premier cas, on poursuit l'étude des profils à "stone lines" sous l'angle génétique et en précisant également l'incidence de telles altérations sur le comportement des éléments métalliques comme l'or. Un modèle original de dispersion a été proposé [voir RS 2115] qui diffère de ceux suggérés dans des environnements ferrolitiques banaux, en Guyane par exemple.

3 - Améliorations des techniques de prospection géochimique

La technique de sélection d'anomalies stratégiques par *analyse de la fraction lourde* [voir RS 2116] a désormais atteint un stade opérationnel. Une application au Massif central a permis de classer des anomalies "anonynes" en les attribuant à un type gîtologique précis. Un travail a été achevé en 1985 pour la CCE qui l'avait cofinancé sur la prise en compte spécifique de la *dispersion chimique des métaux* pour la recherche de gisements cachés.

La *géochimie organique et minérale* a été utilisée sur trois différents sites des Causses : les renseignements fournis par l'analyse appropriée de la matière organique font apparaître des différences significatives d'ordre sédimentologique et diagénétique entre ces trois localités ; ces différences facilitent l'analyse des indices minéralisés en terme d'évaluation de leur potentiel minier [voir RS 2119]. Sur le sîte de Trèves, l'étude des composés hydrocarbonatés volatils montre que la méthode est susceptible de révéler des minéralisations sulfurées cachées [voir RS 2118] ; [voir aussi RS 1936, Résumés scientifiques 1984].

L'hydrogéochimie a satisfait, avec un certain succès aux premiers tests d'application ; dans les séries volcano-sédimentaires de la Brévenne, des anomalies hydrogéochimiques semblent liées à des extensions de gîtes connus.

La lithogéochimie a été relancée et utilisée en Oman pour la recherche des amas sulfurés dans les volcanites basiques du sommet de la séquence ophiolîtique.

Dans le cadre d'une aide CCE, *l'atmogéochimie* a été mise en oeuvre sur des cibles diverses en France, RFA et Grande-Bretagne ; si l'outil méthodologique est désormais au point, les résultats obtenus sont inégaux selon les cibles minières, diverses contraintes restant encore à appréhender [voir RS 2117].

4 - Prospection géochimique et environnement

Un effort a été engagé pour appliquer des techniques et utiliser des données géochimiques à des problèmes agronomiques ou d'environnement. Une collaboration avec l'INRA s'est instaurée, avec l'appui financier du ministère de l'environnement ; elle vise à utiliser les informations issues de l'inventaire géochimique du territoire pour évaluer les risques de pollution naturelle par les éléments métalliques [voir RS 2120].

5 - Géochimie isotopique

L'usage des isotopes du plomb pour appréhender les problèmes de source et de l'héritage métallique est devenu classique en métallogénie. Par coopération entre géochimistes, minéralogistes et gîtologues, le BRGM s'attache à l'applicabilité des études isotopiques en exploration minière, notamment au stade de la caractérisation et de la sélection précoce des indices de prospection. Des travaux significatifs ont été menés sur les minéralisations du Massif armoricain [voir RS 2121], les filons minéralisés du Puy-de-Dôme et ceux des Hautes-Alpes [voir RS 2122].

Certains paramètres contrôlant les interactions eau-roche ont été appréhendés grâce à une étude (aide de la CCE) de géochimie isotopique sur les inclusions fluides des *cuttings du forage géothermique d'Asal II* (Djibouti) : on montre qu'il existe d'importantes variations dans la composition des fluides selon la profondeur [voir RS 2123].

Recherches sur les techniques analytiques en laboratoire et in situ

La complémentarité des méthodes d'analyse des traces dans les sulfures, soit par microsonde protonique, soit par microsonde électronique, a été démontrée dans le cadre de travaux menés conjointement avec des chercheurs allemands et canadiens ; et les premiers résultats de terrain dans l'analyse par activation en forage des minerais phosphatés ont été obtenus.

1 - Analyse in situ

L'appareil portable d'analyse par fluorescence, SYRANO, développé en 1984 [voir Résumés scientifiques 1984, p. 49 et RS 1922] a subi plusieurs améliorations qui lui permettent d'abaisser significativement son seuil d'analyse [voir RS 2129].

Avec l'aide de la CCE et parallèlement à la coopération avec le LCPC sur une sonde d'analyse à générateur de neutrons, un prototype de sonde à activation par source radioactive a été développé pour l'analyse en forage de P_2O_5, SiO_2, CaO ; des essais ont été conduits dans la craie phosphatée de Picardie [voir RS 2128 ; voir aussi Résumés scientifiques 1984, RS 1924].

2 - Analyse des platinoïdes

Compte tenu de l'intérêt potentiel des minérais du groupe des platinoïdes, des *méthodes analytiques* ont été mises en point. Une méthode vise [voir RS 2126] essentiellement l'analyse des minerais (sulfures, chromites) et permet l'analyse en routine (seuil 10 ppm) de cinq éléments du groupe (Pt, Pd, Rh, Ru, Ir) ; une autre, bénéficiant d'une aide CCE, utilise les techniques de l'activation neutronique qui permettent une bonne sensibilité et de dosage à des seuils particulièrement bas (de 20 ppb pour Ru à 0,5 ppb pour Ir) [voir RS 2127].

3 - Sondes électroniques et protoniques

La complémentarité des microsondes électroniques et protoniques a été évaluée [voir RS 2124] pour *l'analyse des éléments en traces dans les sulfures* ; la microsonde électronique du laboratoire commun BRGM-CNRS et la microsonde protonique de l'Institut Max-Planck à Heidelberg ont été utilisées ; les données ont été traitées à l'Université de Guelph, Ontario. La complémentarité des deux techniques est apparue à l'issue des travaux.

4 - Analyses d'eau

L'analyse des anions des eaux par chromographie ionique a été développée [voir RS 2125] ; elle permet un dosage simultané avec des performances comparables à celles des techniques classiques monoélémentaires.

Minéralogie descriptive et expérimentale

Les zircons octaédriques se révèlent être des indicateurs sensibles de la présence de roches alcalines

Dans la ligne des travaux de Pupin, des études basées sur l'analyse comparative de très nombreux échantillons, montrent que les *zircons octaédriques* s'observent surtout, sinon uniquement, parmi les populations de zircon des roches alcalines : ils peuvent donc être considérés comme traceur en prospection minière ou comme guide minéralogique en pétrologie [voir RS 2132].

Des travaux expérimentaux et théoriques, aidés par la CCE, sur les *spinelles et leurs capacités d'échange* avec des solutions, permettent des ajustements de modèle, notamment pour ce qui concerne les relations activité-composition, un des paramètres contrôlant le potentiel "métallogénique" de certains éléments (Cr, par exemple) [voir RS 2134]. L'analyse de textures microcristallines issues d'une cristallisation rapide dans certains filons renseigne sur les *conditions génétiques de ces filons* qui se rapprochent du refroidissement très rapide des métaux et alliages fondus [voir RS 2135].

Un travail de thèse a apporté une contribution à l'étude minéralogique des minéralisations plombo-zincifères de la nappe de Gavarnie (Pyrénées) [voir RS 2131].

Le microscope électronique à balayage utilisé pour l'analyse minéralogique fine des *gangues carbonatées complexes de gîtes filoniens* de la région de Brioude-Massiac, permet de montrer des affinités d'indices pouvant avoir, a priori, des origines distinctes [voir RS 2130].

Enfin, *l'inventaire minéralogique de la France* a été poursuivi avec la parution du tome 2 Ariège [voir RS 2133].

Minéralurgie

Automation, suivi informatique et simulation concourent de plus en plus à la conduite des installations minéralurgiques ainsi qu'à l'accroissement de leur efficacité.

Les études sur la valorisation des *minerais de phosphates difficiles* se sont achevées en 1985 pour ce qui concerne les minerais à gangue carbonatée avec des essais-pilote sur des produits togolais et se sont poursuivies par un travail sur la séparation phosphate-silice par flottation pelliculaire sur spirale, travail portant sur des minerais grenus. Les essais continus ont permis de définir une configuration du circuit de traitement donnant des résultats satisfaisants [voir RS 2136].

Dans le cadre des recherches pour l'amélioration des traitements physiques, de nouvelles méthodes de *caractérisation du degré de libération des minéraux*, méthodes faisant appel à l'analyse d'images mais aussi à des techniques complémentaires visant à refléter la réalité tri-dimensionnelle, ont été testées dans le cadre d'un contrat co-financé par la CCE [voir RS 2137]. Un effort important a également été consenti sur les techniques informatisées et automatisées de pilotage et de contrôle du processus de traitement ainsi que sur les *techniques de simulation* de conception et d'optimisation des usines minéralurgiques voir RS 2138] ; ces recherches sont réalisées en coopération transnationale.

D'autres recherches ont été poursuivies avec l'aide de la CCE : production du soufre et de métaux à partir des pyrites de Rouez (Sarthe), et lixiviation directe des minerais pyriteux complexes avec dissolution sélective des non ferreux.

Modélisation - Informatisation

Les recherches sur les techniques de modélisation et d'informatisation s'intègrent désormais étroitement à la plupart des travaux des différentes disciplines.

Des *logiciels de traitement de données* importants comme FIESTA pour la manipulation, la représentation et l'évaluation géochimique, GMI-PACK applicable aux champs de potentiel [voir RS 1978], GDM pour les applications à la mine [Résumés scientifiques 1984, RS 1959], HIVI pour l'hydraulique villageoise, continuent à se développer, soit en étendant leurs champs d'application, soit en accroissant leur convivialité (exemple : emploi accru sur micro-ordinateurs).

L'effort entrepris en 1984 sur les *systèmes experts* s'est poursuivi avec succès : le système SERGE [voir Résumés scientifiques 1984, RS 1957] a continué à se développer pour l'aide à la sélection des anomalies géochimiques ; ce développement est suivi avec intérêt par l'USGS.

Des travaux particulièrement significatifs ont été menés pour le *traitement des données multi-sources* (géochimiques, géophysiques, géologiques). On rappellera en particulier les résultats évoqués dans les RS 2110 à RS 2112 et concernant le logiciel SYNERGIE.

L'exploitation optimale des images satellitaires entraîne une importante recherche de *traitement d'images* ; les RS 2102 et 2103, notamment évoquent des problèmes de ce type.

L'hydrogéologie emploie depuis longtemps les techniques de la modélisation et le traitement des données par la voie informatique ; quelques-unes des études sont évoquées dans les RS 2037, 2038, 2042, 2046, 2054...

La modélisation géostatistique de la fracturation des massifs rocheux est une approche globale aussi bien pour la géologie structurale que pour la géotechnique : elles disposent avec elle d'une méthode quantitative pour l'analyse de réservoirs ou de milieux confinés [voir RS 2073, RS 2074].

La conduite des opérations de traitement des minerais et leur optimistion s'appuyent de plus en plus sur des simulations et le traitement de données physico-chimiques recueillies en continu sur les boucles de traitement [voir RS 2138].

Innovations technologiques

Une des ambitions du programme de recherche du BRGM est de doter les praticiens des Sciences de la Terre d'outils modernes susceptibles de faciliter leur tâche d'acquisition des données, de rapprocher la mesure et le calcul de l'observation in situ, de quantifier au maximum celle-ci. C'est donc au sein même des différents programmes que cette exigence technologique est prise en compte et suivie de la conception au développement en liaison étroite avec l'aval utilisateur.

C'est dans cet esprit qu'ont été poursuivies les améliorations de l'appareil SYRANO *d'analyse chimique in situ* [voir RS 2129], des *outils géophysiques* (SYSCAL, RS 2108 ; MELIS, RS 2109), des instruments propres à mesurer en laboratoire les *très faibles perméabilités* [voir RS 2071].

Sur le terrain, des travaux ont été menés sur les *systèmes d'écoute des phénomènes de fracturation* à faible profondeur [voir RS 2072], les sondes de *mesures de contraintes en forage* [voir RS 2070], les procédures *d'auscultation* du comportement des terrains dans les exploitations minières [voir RS 2085], les outils de mesures in situ de certains paramètres d'érosion-transport des sédiments et de *télétransmission* des données obtenues [voir RS 2062].

Des améliorations ont été apportées au *pilote de dénitrification* des eaux souterraines [voir RS 2049], aux équipements de contrôle continu des installations de *traitement des minerais*, tandis que les réflexions étaient poursuivies pour trouver, par exemple grâce au *gas-lift*, des améliorations aux techniques d'exploitation de l'énergie géothermique dans le Bassin de Paris [voir RS 2092]. Enfin, la maîtrise des outils de la *cartographie assistée par ordinateur* a été acquise au cours de l'année 1985, marquée par l'édition de la première carte géologique à 1/50 000 préparée par ce procédé ainsi que par la réalisation d'une carte "actualisable" du volcan actif de la Réunion.

B. RESUMES DES PRINCIPAUX RESULTATS

GEOLOGIE GENERALE
ET CONNAISSANCE GEOLOGIQUE REGIONALE

Appui à la cartographie géologique

RS 1962

Carte des sédiments superficiels du plateau continental du Golfe de Gascogne (partie septentrionale) à 1/500 000

Map of the surficial sediments of the continental shelf of the Bay of Biscay (Northern part) at 1:500,000 scale

A. KLINGEBIEL*
P. LESUEUR*
P. BOUYSSE

Cette carte représente la nature des fonds superficiels du plateau continental du golfe de Gascogne depuis la pointe occidentale de la Bretagne jusqu'à l'embouchure de la Gironde. Elle a été élaborée par l'Institut de Géologie du Bassin d'Aquitaine (Université de Bordeaux I) en étroite concertation avec le Département Géologie Marine et Sédimentologie Dynamique du B.R.G.M. et en collaboration avec d'autres organismes de recherche : Institut Scientifique et Technique des Pêches Maritimes (D. Dorel), Université de Bretagne Occidentale (J.P. Pinot, C. Chassé, M. Glémarec), Institut de Géographie de Paris (R. Vanney), Université de Perpignan (J.P. Barusseau), Université de Nantes (F. Ottmann et Y. Delanoë). Cette coupure, qui prend en compte 9 500 échantillons de sédiments meubles, est une mise à jour et une synthèse de travaux déjà publiés ou inédits. Les principes cartographiques de base consistent à mettre en relief deux paramètres essentiels : granulométrie et teneurs en carbonates. De ce fait, ce document est susceptible de rendre des services aux promoteurs de diverses activités économiques tournées vers la mer : aménagement, pêche, granulats (sables et graviers détritiques ou calcaires, maërl), etc. La représentation graphique des faciès sédimentaires a été légèrement modifiée par rapport à la carte, à même échelle, des sédiments de la Manche (1979) pour tenir compte d'un contexte sédimentaire un peu différent (facteurs hydrodynamiques plus faibles, extension beaucoup plus importante des sédiments vaseux). Avec ces deux coupures, on dispose maintenant d'un ensemble cartographique continu et homogène couvrant la plus grande partie de la plate-forme continentale atlantique française.

La carte a été co-éditée par le B.R.G.M. et l'IFREMER.

REFERENCE :

Carte des sédiments superficiels du plateau continental du golfe de Gascogne. Partie septentrionale, échelle 1/500 000 ; avec 3 encarts et notice explicative de 23 p. Editions du B.R.G.M., 1986.

* Institut de Géologie du Bassin d'Aquitaine, Université de Bordeaux I, Talence.

RS 1963

Stratigraphie des formations sédimentaires et volcaniques de Saint-Martin (Petites Antilles septentrionales)

Stratigraphy of Saint-Martin (Northern Lesser Antilles)

Les travaux entrepris depuis 1983 dans le cadre du programme de cartographie géologique de la France à 1/50 000 conduisent à réviser les schémas stratigraphiques proposés auparavant (ANDREIEFF et al., 1981 ; BONNETON et VILA, 1983).

P. ANDREIEFF
D. WESTERCAMP
F. GARRABE*
J.R. BONNETON**
J. DAGAIN

L'ile de Saint-Martin est constituée d'une série volcanique et sédimentaire éocène (la formation Pointe Blanche des auteurs), recoupée par deux complexes plutoniques d'âge oligocène. Cet ensemble paléogène est frangé au NE (Ile de Tintamarre) et à l'Ouest (Péninsule des Terres-Basses) par des formations calcaires miocènes (formation des Terres-Basses ou Low Lands formation des auteurs).

1) *La série éocène* est monoclinale, avec un pendage moyen de 30° vers le SSE ; son épaisseur maximum est estimée à 2 ou 3 000 m. Elle est désormais subdivisée en 10 unités cartographiques qui couvrent, d'après les Foraminifères reconnus dans les niveaux carbonatés, un intervalle stratigraphique allant de l'Eocène inférieur basal (calcaires tuffitiques à *Ranikothalia* et *Discocyclina* de la Pointe Arago) à la partie inférieure de l'Eocène supérieur (calcaires pelagiques à *Globigerinatheka semiinvoluta* de Kool Bay). Plusieurs jalons biostratigraphiques intermédiaires (colline Nettlé : Zone à *Globorotalia pentacamerata* ; Kool Hill : Zone à *Globigerinatheka subconglobata* ; Red Pond Bay : Zone à *Globorotalia lehneri* et Zone à *Orbulinoides beckmanni* ; Pointe Blanche : Zone à *O. beckmanni*) suggèrent que cette série est virtuellement complète et qu'elle s'est déposée pendant environ 20 Ma. Le volcanisme éocène est entièrement sous-marin, avec prédominance des produits à quartz en fin de série, à partir de la Zone à *G. lehneri*; il cesse vers la fin de l'Eocène moyen.

2) La grande majorité des datations K-Ar concernant les *plutons dioritiques de Philipsburg et Grand'Case* s'inscrivent entre 28 et 32 Ma (BRIDEN et al., 1979), soit vers la mi-temps de l'Oligocène. Il est probable qu'un volcanisme de surface ait été associé à la mise en place d'un de ces plutons, puisque des dépôts de type nuée ardente et brèches de maar ont été découverts sous les calcaires miocènes, au Nord des Terres Basses (Baie Rouge) ; leur âge reste néanmoins à préciser par radiochronologie.

3) *La série miocène*, transgressive et discordante sur les dépôts paléogènes, est subdivisée en deux formations :

La formation des Terres-Basses s.s. (incluant la série carbonatée de l'ile de Tintamarre) est constituée de 200 m de calcaires pararécifaux qui sont attribués au Miocène inférieur élevé (Zone à *Catapsydrax stainforthi* et Zone à *Globigerinatella insueta*). La formation Cupecoy forme un vaste synclinal en contact tectonique avec la formation des Terres Basses ; ses 80 m de calcaire crayeux, riches en Foraminifères planctoniques, se sont déposés depuis le Miocène moyen (Zone à *Globorotalia robusta*) jusqu'au Miocène supérieur terminal (Zone à *Neogloboquadrina humerosa*).

REFERENCES

-ANDREIEFF P., BIZON G., BOUYSSE P. (1981) .- Révision de l'âge des formations sédimentaires de Saint-Martin : implications sur la chronologie de l'arc insulaire des Petites Antilles .- C.R. Ac. Sc., Paris, 292, III, p. 79-82.

-BONNETON J.R., VILA J.M. (1983) : Données géologiques nouvelles à l'ile de Saint-Martin (Petites Antilles) .- Bull. Soc. Geol. Fr., 7, XXV, 6, p. 867-871.

* 5, rue de la Chabourne - 78320 LE MESNIL SAINT DENIS, FRANCE

** UNIVERSITE DES ANTILLES ET DE LA GUYANE, BP 592, 97167 POINTE A PITRE CEDEX FRANCE.

RS 1964

Synthèse géologique du Mozambique

Geological review of Mozambique

P. PINNA
P. MARTEAU

Financement FAC

Ce travail a été assuré par une équipe du BRGM et a mobilisé de nombreuses collaborations de la part de sociétés et services ayant une expérience de la géologie du Mozambique : Hunting, Aquater, Elf, Gulf, l'Université d'Aveiro, l'Institut de Géologie du Mozambique...

La carte et sa notice dessinent une image très largement rénovée du Mozambique.

Les terrains précambriens sont regroupés en trois grands sous-ensembles :

- les groupes archéen et protérozoïque inférieur, affleurant seulement près de la frontière avec le Zimbabwe, constituent le prolongement des greenstone belts et des "granito-gneiss" du bouclier austro-africain ;

- les terrains orogénisés à la fin du Précambrien B et au début du Précambrien A se subdivisent en deux principales chaînes :

. les prolongements méridionaux de la chaîne irumide, formant la bordure orientale du craton, et une zone complexe, largement reprise, poursuite au Mozambique de la chaîne irumide de Zambie. L'âge de ces terrains serait précambrien B, et celui de leur orogenèse, de l'ordre de 1 300 Ma d'après les données de Zambie et du Zaïre. Ils sont fortement réactivés dans l'orogenèse mozambicaine, vers 900 Ma ;

. la chaîne mozambicaine se développe largement dans tout le pays. Elle se subdivise en une province occidentale granulitique, formée principalement de séries ignées (charnockites, enderbites, anorthosites) mises en place entre 1070 et 900 Ma, et en une province orientale, caractérisée par une structure de la croûte bi-couche : la couche inférieure, formée de migmatites orthodérivées et de granitoïdes calco-alcalins, mis en place entre 1 100 Ma (très bas rapports isotopiques initiaux : 0,7028) et 900 Ma (rapports initiaux plus élevés : 0,710 ± 0,005) sur une marge active ; la couche supérieure, charriée sur la précédente, qui comporte une superunité granulitique supérieure (Super-groupe du Lurio) et une semelle gneissique constituée de mylonites et de terrains supracrustaux matérialisant probablement un ancien hiatus océanique. Ces terrains sont datés de 1 000 ± 100 Ma ;

- le cycle panafricain est représenté par

1) des dépôts d'âge probable katangien, discordants sur les granulites mozambicaines dans l'extrême Nord ;

2) une tectonique intense, couvrant de très larges secteurs du pays. Des granitoïdes panafricains sont datés de 500 ± 100 Ma.

Les bassins sédimentaires, couvrant le tiers de la superficie du pays, sont divisés en trois domaines :

- les bassins intra-socle du Haut Zambèze, du Lunho et du Lugenda, qui contiennent des dépôts détritiques continentaux et des volcanites, rapportés au cycle Karroo, et post-Karroo pour le premier ;

- le bassin côtier du Rovuma et de Moçambique ;

- le bassin du Save Limpopo et du Bas Zambèze.

Ces deux derniers bassins littoraux comprennent des séries détritiques continentales mésozoïques à l'Ouest, qui passent progressivement vers l'Est à des séries marines. D'épais dépôts plio-quaternaires masquent fréquemment le Mésozoïque sur de grandes étendues.

La synthèse de bassin réalisée permet d'homogénéiser des formations locales jusqu'à présent disparates, et de les replacer dans le cadre géodynamique régional, marqué en particulier par d'importants systèmes d'effondrement, à la terminaison méridionale du rift est-africain.

Cartographie géologique au 1/100 000 des montagnes d'Oman

Entre 1982 et 1985, le BRGM a réalisé un important travail de cartographie géologique et de prospection préliminaire, dans les Montagnes du Sultanat d'Oman, sur la demande du Ministère du Pétrole omanais.

La mission, forte de sept géologues, a bénéficié de l'intervention de nombreux experts, tant sur le terrain que dans nos laboratoires. Le lever géologique réalisé en une centaine de mois géologue, avec l'aide de l'hélicoptère (760 heures de vol) couvre une surface totale de 28 000 km^2, dans une région montagneuse difficile d'accès. A ce travail, de base s'ajoute l'appui des laboratoires : 3500 études micropaléontologiques et sédimentologiques, 2500 lames de pétrographie de roches cristallines, 1000 analyses géochimiques etc...

Dans un premier temps ce travail débouche sur la publication de 13 cartes géologiques au 1/100 000e avec leur notice explicative, qui seront diffusées par le Ministère du Pétrole omanais.

Le volume d'informations récolté est considérable, et ne serait qu'incomplètement exploité si l'on s'en tient uniquement à la publication des cartes géologiques et des notices. La rédaction d'une synthèse géologique de la chaîne Nord-Oman est donc en cours et fera l'objet, pour l'essentiel, d'une thèse d'Etat collective présentée par quatre géologues de l'équipe. elle sera accompagnée d'un document cartographique au 1/250 000e, et sera complétée de deux atlas, destinés à illustrer respectivement les différents microfaciès sédimentaires (et la microfaune) et la pétrographie des roches magmatiques volcaniques et métamorphiques.

Les résumés présentés dans ce recueil annoncent les premiers résultats qui seront publiés prochainement dans différentes revues scientifiques nationales et internationales.

RS 1965

Principaux événements sédimentaires, magmatiques et tectoniques des montagnes d'Oman

A synthesis of the main sedimentary, magmatic and tectonic events in the Oman Mountains

F. BECHENNEC
M. BEURRIER
J. LE METOUR
D. RABU
M. VILLEY

Les Montagnes d'Oman sont un élément des chaînes alpines caractérisé par l'obduction d'un fragment de lithosphère océanique (nappe de Samail) et le charriage d'un bassin sédimentaire (nappes de l'Hawasina) sur la bordure N.E. de la plateforme arabe (Autochtone "B") au cours de la fermeture de la Téthys durant le Crétacé supérieur. Leur étude à travers un programme de cartographie à 1/100 000 sur environ 28 000 km^2 a permis d'analyser les grandes étapes de leur histoire depuis les premiers dépôts d'âge Protérozoïque supérieur jusqu'aux évènements tectoniques d'âge tertiaire qui ont abouti à la surrection de la chaîne.

Les formations du socle sédimentaire pré-permien se sont déposées entre le Protérozoïque supérieur et l'Ordovicien moyen. Leur structuration par tectonique de blocs et plis à grand rayon de courbure au cours de l'orogenèse hercynienne a induit une discordance majeure entre ces formations et leur couverture d'âge permo-crétacé.

L'histoire téthysienne des séries omanaises débute au Permien supérieur (Murghabien) par une grande transgression marine avec un détritisme terrigène basal puis le dépôt de calcaires à Fusulinidés en domaine de plateforme interne. A la même époque, une première phase de rifting sur la marge arabe s'accompagne d'un volcanisme principalement alcalin et permet l'installation temporaire d'un domaine de plateforme externe (extrême N.E. des montagnes d'Oman) et au-delà, la première individualisation du bassin Hawasina. Un second épisode de rifting, au Ladinien-Norien, est reconnu dans le bassin Hawasina où s'individualisent le bassin Hamrat Duru, la ride Kawr, et le bassin Umar. Sur la plateforme, des sédiments carbonatés infralittoraux proximaux se déposent avant une émersion à la fin du Trias et au début du Jurassique.

Au Jurassique, sur la plateforme elle-même, les sédiments sont d'abord gréso-carbonatés lors d'une nouvelle transgression marine, puis carbonatés à faciès infralittoral proximal. Dans le bassin Hawasina, cette période correspond à une phase de quiescence qui permet le comblement du bassin par des turbidites gréseuses puis carbonatées provenant de la plateforme.

Au Tithonique supérieur-Berriasien, une importante phase de distension provoque l'effondrement de la plateforme omanaise et la subsidence du bassin Hawasina avec généralisation des faciès bathyaux dans ces deux domaines. Cet évènement est probablement lié à l'ouverture d'un bras de la Téthys au N.E. du bassin Hawasina.

Puis ce bassin élargi se comble dans les domaines les plus internes où, dès l'Hauterivien, une plateforme infralittorale se développe. Dans les domaines les plus externes, le bassin Hawasina, les turbidites carbonatées se mettent à nouveau en place à cette même époque.

Au Cénomanien terminal-Turonien inférieur débute la tectogenèse éoalpine (D1) marquée par le décollement d'un fragment de la lithosphère océanique au niveau du bras méridional de la Téthys entraînant la fermeture progressive de celui-ci, et une ondulation à grande échelle de la plateforme omanaise, provoquant le bombement de sa partie N.E. et la création d'un bassin intrashelf (bassin Muti) au S.O.. Le transfert vers le S.S.O. du fragment de lithosphère océanique (nappe de Samail) s'accompagne du décollement successif des unités de l'Hawasina. C'est à cette époque qu'il faut rapporter le sous-charriage, en climat HP/BT, du Saih Hatat vers le N.N.E. par rapport à la portion de marge omanaise à croûte continentale amincie.

AGE[1] (Ma)	CHRONOSTRATIGRAPHY		AUTOCHTHONOUS ROCKS IN OMAN MOUNTAINS: Sedimentary cycles	AUTOCHTHONOUS ROCKS IN OMAN MOUNTAINS: Process and environments	ALLOCHTHONOUS ROCKS IN OMAN MOUNTAINS: Hamrat Duru basin	ALLOCHTHONOUS ROCKS IN OMAN MOUNTAINS: Kawr ridge	ALLOCHTHONOUS ROCKS IN OMAN MOUNTAINS: Umar bassin	ALLOCHTHONOUS ROCKS IN OMAN MOUNTAINS: Ophiolite	OROGENIC CYCLES
	PLIO-QUATERNARY		Terrestrial deposits	Terrestrial deposits					
23	EARLY MIOCENE TO MAASTRICHTIAN		U; Post-nappe autochthonous	Mixed terrestrial and marine deposits from a syntectonic environment					ALPINE OROGENY: D_5 D_6
	CAMPANIAN	CRETACEOUS	U; hiatus		EMPLACEMENT OF HAWASINA NAPPES			EMPLACEMENT OF SAMAIL NAPPE	D_3 D_4; D_2; D_1
83	SANTONIAN		hiatus	"B"					
	CONIACIAN		Aruma group	Slope deposits					
91	TURONIAN		d/U	UPLIFT in NE; DOWNWARP in W	Nayid fm	Turbidite deposition		START OF OBDUCTION	
95	CENOMANIAN		Wasia group	Subtidal carbonate platform	Si_2 (Sid'r fm); Wahrah fm	d		Samail volcanites and plutonic rocks	
	ALBIAN		d	EROSION	Turbidite deposition				
107	APTIAN								
	BARREMIAN			Subtidal carbonate platform deposits			?		
	HAUTERIVIAN		Kahmah group						
	VALANGINIAN			Progressive filling of a bathyal to subtidal of confined basin	Si_1			Oceanic spreading	
	BERRIASIAN					Bathyal deposits			
130	TITHONIAN	JURASSIC	d; hiatus	DOWNWARP OF THE PLATFORM	OISTENSION.chert	OISTENSION d	Radiolarian chert	OPENING OF ARM OF TETHYS OCEAN	
	KIMMERIDGIAN				Guwayza fm				
	OXFORDIAN								
150	CALLOVIAN				Turbidite deposition		and		
	BATHONIAN		Sahtan group	Carbonate platform deposits					
	BAJOCIAN					volcanism, radiolarian chert and slope deposits (olistoliths) Al Aridh group			
	AALENIAN					EROSION			
	TOARCIAN								
	PLIENSBACHIAN		d/U	TRANSGRESSION	Mb_2 (Matbat fm)		carbonate deposition		
195	SINEMURIAN		hiatus	EROSION (?)					
	HETTANGIAN			EMERGENCE		EMERGENCE			
204	RHETIAN	TRIASSIC			Mb_1				
	NORIAN				Al_2C				
	CARNIAN				OISTENSION Radiolarian chert	Reef building and internal carbonate platform	OISTENSION (Radiolarian chert and carbonate deposition; Volcanism (olistolith))		
229	LADINIAN								
	ANISIAN		Akhdar group	Intertidal to subtidal carbonate platform deposits	Al_1 - Al_2S (Al Jil fm)				
	SCYTHIAN								
245	OORASHAMIAN	PERMIAN			Turbidite deposition				
	DJULFIAN								
	MIDIAN					Internal platform and reef- build up			
258	MURGHABIAN		U	TRANSGRESSION; Submergence of platform	RIFTING; Volcanism	RIFTING- Volcanism			
			hiatus (Haima group); ?	EROSION; "A"; EMERGENCE					HERCYNIAN OROGENY: Block faulting and large scale folding
570	LATE PROTEROZOIC (Infracambrian ?)		Huqf group	Volcanism; terrigenous and carbonate sediments; TRANSGRESSION; Glacial to marine sediments					

d disconformity
U Unconformity

(1) absolute ages according to Odin, 1982

Au Campanien intervient le charriage des nappes de l'Hawasina et l'obduction de la nappe de Samail sur l'autochtone omanais (D2) ; les dernières phases éoalpines (D3-D4) achèvent alors la structuration de la chaîne "crétacé supérieur". L'importante surrection de la zone axiale de cette chaîne ne permet pas sa submersion avant le Paléocène supérieur, alors que le domaine le plus externe de celle-ci, au front des nappes, est transgressé dès le Maestrichtien.

Au Tertiaire, notamment au passage Lutétien-Bartonien (D5), puis durant l'Oligo-Miocène (D6), s'achève l'édification de la chaîne alpine des Montagnes d'Oman.

RS 1966

Les formations pré-permiennes du Jabal Akhdar (montagnes d'Oman)

Pre-permian formations in Jabal Akhdar (Oman mountains)

D. RABU
J. LE METOUR
J.J. CHAUVEL*
M. BEURRIER
G. HUTIN

Le jabal Akhdar constitue un massif montagneux imposant dont la zone axiale est jalonnée de dépressions qui permettent d'accéder aux formations du socle sédimentaire regroupées sous le terme de Autochtone "A".

L'autochtone "A" du jabal Akhdar est constitué par l'empilement de 5 formations, qui sont de bas en haut :

- la formation de Mistal qui représente les terrains les plus anciens de la région étudiée. Elle a été subdivisée en quatre nouveaux membres cartographiés. Le membre basal (membre de Ghubrah) est constitué de diamictite à boulders de granite et se caractérise aussi par un important héritage volcanique acide et basique. Il représente des dépôts mis en place probablement en contexte glaciaire à périglaciaire. Le membre de Saqla discontinu, est constitué d'un épisode effusif basalto-andésitique et d'un système intrusif (sill doléritique)

peu développé. Des gossans et anomalies à Pb, Ag, Zn, Mo, Sb, Cu, Au, sont régionalement associés à ce membre. Le membre de Fiq repose soit sur le membre de Saqla soit sur le membre de Ghubrah dont il se différencie par son caractère stratifié du à la présence de bancs métriques à plurimétrique de wackes feldspathiques lithiques à fort héritage volcanique. De place en place, des décharges conglomératiques à caractère de diamictite envahissent la série dont la lithologie devient alors très proche de celle du membre de Ghubrah. Le développement subordonné de schistes noirs pyriteux s'accompagne d'anomalies en Au. Le membre de Amq débute par un niveau décamétrique remarquablement continu de dolomie chocolat à lamines (algaires ?) et s'achève par des siltstones blanchâtres à roses fortement altérés qui pourraient représenter d'anciens niveaux évaporitiques.

- La formation de Hajir se compose de dolomies et calcaires noirs fétides. Grossièrement lithoclastique à la base avec des remaniements de graviers centimétriques de dolomies jaunes dans des structures chenalisantes, elle s'achève par des termes à laminations stromatolithiques. Cette formation à caractère lagunaire montre à travers le jabal Akhdar une évolution notable puisque, puissante d'environ 100 mètres au stratotype (vers le N.W. du massif), elle perd rapidement de la puissance et ne constitue plus que des lentilles discontinues vers le S.E. (plateau de Saiq).

- La formation de Mu'aydin est une puissante série de siltite-argilite micacée déposée en milieu marin littoral. Elle marque le retour de la sédimentation détritique terrigène.

- La formation de Kharus est constituée par des dépôts de plateforme infralittorale proximale à médiolittorale. Les derniers mètres de cette formation, au-dessus des horizons à stromatolithes sont constitués de siltite grise à nodules phosphatés centimétriques.

- La formation de Fara, en discordance sur la formation de Kharus est constituée de trois membres qui se caractérisent par le dépôt de sédiments détritiques terrigènes et volcanoclastiques associés à un volcanisme ignimbritique subordonné. Elle achève dans le jabal Akhdar, la série pré-permienne.

EVOLUTION SEDIMENTAIRE

Trois cycles sédimentaires majeurs sont reconnus à travers le Pré-Permien du Jabal Akhdar. Le premier débute avec une sédimentation en contexte glaciaire (membre de Ghubrah) et se poursuit en contexte glacio-marin (membre de Fiq). Les épisodes volcaniques sont distaux (membre de Saqla) et sont principalement reconnus par les détritismes qu'ils alimentent. L'installation de la sédimentation carbonatée se fait en deux temps (membre de Amq et formation de Hajir) et produit des dépôts très internes, lagunaires à évaporitiques. Le second cycle se caractérise par le retour de la sédimentation détritique terrigène (formation de Mu'aydin) suivi de l'installation d'une plateforme carbonatée interne (formation de Kharus) à construction stromatolitique et dépôts phosphatés. Le troisième cycle correspond à la formation de Fara.

AGE DES FORMATIONS DE L'AUTOCHTONE "A" DANS LE JABAL AKHDAR

La détermination de l'âge de ces formations revêt un intérêt capital dans la connaissance du socle de la plateforme omanaise mais peu d'éléments sont actuellement à notre disposition. L'âge anté-permien supérieur est attesté par celui des séries transgressives et discordantes qui les recouvrent (formation de Saiq datée du Murghabien). Une recherche systématique de micro-faune à travers l'ensemble des formations pré-permiennes du jabal Akhdar permet de montrer à différents niveaux (formation de Mistal, formation de Hajir, formation de Fara) la présence exclusive et en grand nombre de spores de cyanophycées *(Paléocryptidium cayeuxi)* . Cette forme apparaît au Vendien (dont elle fut jusqu'à peu caractéristique), et se poursuit durant le Paléozoïque. Le fait qu'en Oman, *Palaeocryptidium cayeuxi* ne soit accompagné d'aucun des organismes (acritarches, chitinozoaires ...) qui l'accompagnent habituellement dans les séries paléozoïques, est un élément non négligeable pour attribuer un âge Vendien aux formations de l'Autochtone "A" du jabal Akhdar. Une exception peut être faite pour la formation de Fara en tenant compte de la découverte au cours de cette étude d'un possible archéocyathe non déterminé avec précision ; un âge cambrien inférieur pourrait être envisagé.

D'autres approches sont à envisager pour apporter des éléments de datation à cette série. L'aide de la géochronologie permettrait en outre de :

. dater les boulders granitiques remaniés dans les diamictites du membre de Ghubrah, et d'apporter ainsi une borne inférieure pour l'âge de cet ensemble. Des comparaisons seraient alors possibles avec les socles granitiques connus plus à l'Est : jabal Ja'alan et Qalath dans le socle cristallin d'Oman,

. dater les ignimbrites de la formation de Fara qui fourniraient ainsi une borne supérieure pour l'ensemble des formations de l'Autochtone "A" dans le jabal Akhdar.

* Inst. géol., Université de Rennes - 35042 RENNES Cédex

RS 1967

Mise en évidence d'une série volcano-sédimentaire à la base du Permien supérieur autochtone dans la partie nord-orientale des montagnes d'Oman

Discovery of a volcano-sedimentary unit at the base of the autochtonous upper permian in the Northeastern Oman Mountains

J. LE METOUR
D. RABU
M. VILLEY
F. BECHENNEC
M. BEURRIER
C. BOURDILLON DE GRISSAC

Dans les montagnes d'Oman l'Autochtone supportant les nappes d'Hawasina et de Samail est composé d'un socle sédimentaire d'âge Protérozoïque terminal à Ordovicien (Autochtone A) recouvert en discordance par les sédiments carbonatés d'âge Permien à Sénonien (Autochtone B) ; ces deux unités autochtones affleurent à l'occasion des fenêtres du Saih Hatat et du Jabal Akhdar. La cartographie à 1/100 000 de ces secteurs a permis de mettre en évidence une lithologie nouvelle des séries permiennes, et de l'insérer dans un schéma paléogéographique global.

Dans le Saih Hatat la base de l'Autochtone B (formation Saiq) est constituée par une série volcanosédimentaire à intercalations de calcaires et dolomies à Fusulinidés d'âge Permien supérieur (Murghabien). Ce membre basal volcanosédimentaire et carbonaté est localisé dans la partie N.E. du Saih Hatat. A l'Est il est constitué de plusieurs centaines de mètres de schistes tuffitiques rhyodacitiques à rhyolitiques localement carbonatés (calcschistes) ou graphiteux, vers le sommet s'intercalent des dolomies et calcaires noduleux à horizons d'olistholites et de conglomérats carbonatés. Latéralement vers l'Ouest et vers le Sud ce membre est réduit à quelques mètres de conglomérat polygénique et de grès quartzeux localement minéralisé (Fe, Zn, Pb), marquant la limite d'extension du complexe volcanosédimentaire. Celui-ci constitue un prisme sédimentaire en bordure NE de la plateforme interne omanaise et caractérise un graben alimenté par un volcanisme explosif et des dépôts carbonatés gravitaires. Enfin il est intrudé par des épais sills et dykes doléritiques qui alimentent les laves basaltiques et trachyandésitiques entrecoupant à nouveau la sédimentation carbonatée de plateforme à la base du membre médian (Murghabien) de la formation Saiq, de plus à ce niveau se mettent en place des dômes de microgranite associés à des laves rhyolitiques.

Le Jabal Akhdar correspond durant cette période à un domaine de plateforme stable. La transgression se marque par le développement d'un membre détritique basal discontinu et peu puissant, parfois volcanoclastique, qui se charge progressivement en horizons carbonatés dont les premiers ont fourni une microfaune d'âge Murghabien.

En conclusion, la découverte d'un puissant complexe volcanosédimentaire acide à la base de la séquence carbonatée de l'Autochtone B vient compléter les indices du rifting (volcanisme effusif bimodal) ayantaffecté au Permien supérieur la bordure N.E. de la plateforme arabe.

RS 1968

Le Jurassique autochtone des montagnes d'Oman

The Jurassic autochtonous unit in the Oman mountains

D. RABU
J. LE METOUR
F. BECHENNEC
M. BEURRIER
M. VILLEY

Dans les Montagnes d'Oman, les sédiments autochtones d'âge jurassique constituent le groupe de Sahtan et affleurent dans les fenêtres du jabal Akhdar et du Saih Hatat. Le travail de cartographie à 1/100 000 réalisé par le B.R.G.M. entre 1982 et 1984 a permis de subdiviser ce groupe en deux formations, d'en définir les stratotypes et de montrer l'évolution de la plateforme omanaise au cours de cette période.

DEFINITION DES STRATOTYPES

Le wadi Sahtan dans le jabal Akhdar est la coupe la plus complète à travers ce groupe. Deux nouvelles formations y sont définies.

* La formation inférieure (190 m) se partage en deux séquences transgressives. Au-dessus d'une surface d'érosion durcie et ferruginisée, la séquence inférieure débute par un horizon à oolithes ferrugineuses auquel succèdent des grès quartzeux à micas flottés, des coulées à blocs hétérométriques de type "débris flow" et des calcaires gréseux. La diminution progressive des détritiques terrigènes permet à la sédimentation carbonatée de s'installer avec des calcaires bioclastiques, parfois oolithiques, en bancs épais souvent bioturbés à leur sommet. Les premières accumulations de

lamellibranches à test épais (Lithiotis) apparaissent à ce niveau, et les foraminifères benthiques associés permettent de dater ces couches du Pliensbachien. La séquence supérieure (60 m) se caractérise par le retour des apports détritiques terrigènes dans un environnement carbonaté. La base est constituée de grès à ciment calcaire et micas flottés, puis des calcaires gréseux passent progressivement à des calcaires argileux et des calcaires noirs bioclastiques, oolithiques, marquant la réinstallation d'une sédimentation carbonatée de plateforme.

* La formation supérieure (198 m) est constituée de calcaire oolithique et de calcaire bioclastique bleus bien stratifiés en bancs épais à sommet fortement bioturbé. Des coupes annexes au stratotype permettent d'attribuer au sommet de cette formation un âge Kimmeridgien à Portlandien.

Cette succession, partout reconnue quand le groupe de Sahtan est complet, montre que l'installation définitive de la plateforme carbonatée au Jurassique, se fait par l'intermédiaire de deux cycles transgressifs dont le premier débute au Pliensbachien. Des variations importantes et brutales dans la puissance de la séquence inférieure sont mises en évidence à travers le jabal Akhdar. Scellées par la seconde phase transgressive, elles sont le signe d'une activité tectonique au cours du dépôt du premier cycle transgressif.

Sur l'ensemble des Montagnes d'Oman, les sédiments de plateforme du groupe de Sahtan sont recouverts par les sédiments bathyaux à circalittoraux du groupe de Kahmah. Bien qu'à l'affleurement ce contact ne soit marqué que par une discontinuité sédimentaire le long d'une surface rougie en apparente conformité, l'évolution régionale de ce contact montre qu'il est de type discordance angulaire. Ceci est particulièrement bien visible à travers le jabal Akhdar où, du S.W. vers le N.E., les sédiments du groupe de Kahmah reposent sur des niveaux de plus en plus anciens du groupe de Sahtan. Dans le Saih Hatat, ce phénomène est en partie masqué par l'érosion fini-cénomanienne qui fait reposer les sédiments d'âge Turonien inférieur du groupe d'Aruma, sur ceux du groupe de Sahtan. L'évolution régionale de la discordance Sahtan/Kahmah permet de délimiter plusieurs blocs basculés résultant d'une importante tectonique cassante lors de la distension de la plateforme omanaise au passage Jurassique-Crétacé et qui provoque un brusque recul de la pente continentale vers le S.W. Cette distension affecte également le bassin Hawasina installé dès le Permien supérieur sur la marge passive omanaise. On peut considérer qu'elle est contemporaine de l'ouverture d'un bras de la Téthys avec formation de croûte océanique dont la partie la plus jeune (Albien-Cénomanien) sera intégrée à la nappe de Samail.

RS 1969

Le cycle Kahmah : ouverture et comblement d'un bassin au Crétacé inférieur dans les montagnes d'Oman

The Kahmah cycle: opening and filling up of a basin during the early cretaceous in the Oman mountains

D. RABU
J. LE METOUR
F. BECHENNEC
M. BEURRIER
M. VILLEY

Dans leur étude générale des Montagnes d'Oman, Glennie et al (1974) avaient défini et cartographié un certain nombre de groupes à valeur régionale. A la suite de la cartographie à 1/100 000 réalisée par une équipe du B.R.G.M. entre 1982 et 1984, la lithologie et la biostratigraphie de ces groupes ont été précisées, et permettent de définir au sein de chacun de ces groupes des formations et membres nouveaux. Ainsi, le groupe Kahmah (Tithonique à Aptien inférieur) a ainsi été partagé en trois formations dont les stratotypes ont été pris dans le jabal Akhdar où elles sont le mieux représentées.

LA FORMATION INFERIEURE DU GROUPE KAHMAH

Dans l'ensemble des Montagnes d'Oman, elle repose en discordance angulaire sur les carbonates de plateforme peu profonde du groupe Sahtan. Dans le jabal Akhdar, puissante de 45 à 60 m, cette formation est homogène et est constituée de calcaire micritique blanchâtre silicifié, à radiolaires, calpionnelles *(Crasicolaria)* , crinoides pélagiques *(Saccocomidae)* et bélemnites *(Conobelus)* . Ces sédiments se sont mis en place dans un milieu bathyal à circalittoral et sont datés du Tithonique supérieur par les calpionnelles. Dans le Saih Hatat, elle n'affleure que sur les flancs sud et est où elle est constituée soit de calcarénite et calcaire micritique, soit de siltite et argilite carbonatés dont la microfaune est semblable à celle du jabal Akhdar. Ces dépôts de pente continentale et de glacis en bordure externe de la plateforme carbonatée se caractérisent par des horizons de conglomérats et de brèches carbonatées où les figures de glissement (slump) sont fréquentes.

LA FORMATION MEDIANE DU GROUPE KAHMAH

A l'endroit du stratotype, cette formation est puissante de 305 m environ et se partage en un membre inférieur et un membre supérieur.

Le membre inférieur est constitué par l'empilement stratigraphique de 5 séquences de comblement à caractère de turbidites carbonatées dont la succession unitaire est la suivante :

- micrite argileuse feuilletée à cassure silexoide dans laquelle la microfaune est représentée par des radiolaires et des foraminifères planctoniques,
- micrite compacte en petits bancs réguliers centimétriques à décimétriques à radiolaires et foraminifères planctoniques et benthiques (rares),
- micrite grise à cassure noire en bancs décimétriques à métriques formant des unités décamétriques massives.

La puissance de ces séquences varie de 20 à 60 m. Les sédiments qui les composent sont caractéristiques d'un milieu circalittoral distal probablement confiné et envasé.

Le membre supérieur (environ 70 m) est constitué de calcaires bioclastiques à débris d'échinodermes, lamellibranches, gastéropodes et calcisponges auxquels s'ajoutent une abondante biophase de foraminifères benthiques qui marque le retour, dès l'Hauterivien-Barremien, à des conditions de plateforme infralittorale proximale sur l'ensemble du jabal Akhdar. Plus à l'est, dans le Saih Hatat, la formation médiane correspond également à une phase de comblement. Les conglomérats et brèches carbonatées entrecoupent fréquemment les séquences turbiditiques calcaires. Localement, pendant le Barrémien, les séquences de comblements s'achèvent par l'installation de récifs rapidement démantelés et recouverts par la séquence turbiditique suivante.

LA FORMATION SUPERIEURE DU GROUPE KAHMAH

Une limite d'érosion d'âge cénomanien supérieur recoupe cette formation qui ne se trouve préservée que dans la partie ouest du jabal Akhdar et au sud du Saih Hatat.

Dans le jabal Akhdar, à l'endroit où elle est complète, cette formation est puissante de 270 à 300 m. Elle est constituée de calcaire grainstone oolithique et oncolithique et de calcaire bioclastique à texture wackestone. Les bancs sont toujours épais et montrent une importante bioturbation à leur toit. Les apports détritiques terrigènes sont quasiment nuls. Ces sédiments qui se sont déposés sur une plateforme infralittorale proximale de type urgonien, sont datés par une biophase abondante riche en orbitolines. Un âge Barrémien pour la base et Aptien inférieur pour le sommet est proposé. Dans le Saih Hatat, la formation supérieure d'âge Barrémien à Aptien inférieur, est constituée de calcaire bioclastique à rares silex vers la base et à interbancs silto-carbonatés vers le sommet. Elle marque également dans ce domaine le retour à des conditions de plateforme interne stable.

EVOLUTION DE LA PLATEFORME OMANAISE AU CRETACE INFERIEUR

Le groupe Kahmah correspond à une étape charnière dans l'histoire de la plateforme omanaise. A la fin du Jurassique, un important évènement distensif provoque un brutal recul de la pente continentale et un affaissement de la plateforme qui est alors placée dans des conditions bathyales. Les premiers dépôts (formation inférieure) recouvrent en discordance les sédiments sous-jacents. Au-delà de ces premiers termes, les fenêtres du jabal Akhdar et du Saih Hatat permettent d'observer l'évolution du groupe Kahmah en deux sites paléogéographiques complémentaires. Le jabal Akhdar correspond à un domaine de bassin se comblant progressivement par des cycles turbiditiques carbonatés successifs (formation médiane, membre inférieur). L'achèvement de cette phase de comblement permet l'installation d'une plateforme infralittorale distale puis proximale de type urgonien (formation médiane, membre supérieur). Le Saih Hatat pour sa part, correspond à un domaine plus proche de la bordure externe de la plateforme avec, dès le Barrémien, installation de corps récifaux progradants.

RS 1970

Lithostratigraphie des nappes Hawasina dans les parties orientale et centrale des montagnes d'Oman

Lithostratigraphy of the Hawasina nappes in the Eastern and Central Oman Mountains

F. BECHENNEC
D. RABU
J. LE METOUR
M. VILLEY
M. BEURRIER

Valorisation scientifique de la cartographie Oman

Le terme "Hawasina" proposé par G.M. Lees (1928) et repris par K.W. Glennie et al. (1974) désigne l'ensemble des formations sédimentaires et volcaniques, inclus dans la pile de nappes qui forment une méga-unité tectonique charriée sur l'Autochtone "B" permo crétacé de la plateforme Arabe, et elle-même chevauchée par la nappe ophiolitique de Samail.

Les levers de cartographie géologique à 1/100 000, effectués par le B.R.G.M. (1982-1984) ont permis une nouvelle approche de la lithostratigraphie des nappes Hawasina et ont impliqué des changements profonds par rapport à celle proposée par K.W. Glennie et al (1974). Quatre groupes ont ainsi été créés : le

AGE	Groupe HAMRAT DURU	Groupe AL ARIDH	Groupe KAWR	Groupe UMAR
Turon.Sup.-Sén.Inf.	WAHRAH fm (waL-Wac) (turb.carb.chert)		?	
Cénomanien Sup.	Nayid fm. Na (turbidite carbonatée)		Safil fm. (carbonates bathyaux)	?
	Sidr fm. Si_2C (chert) Si_2 (turbidite carbonatée)	Ar_4 (fm) Ar_4C (chert-brèche carbonatée) Ar_4L (carbonate)		
Barrémien	Si_1 (chert) Si_1L-Si_1LC)-(chert-carbonate)	Ar_3 (fm) (chert-brèche carb.)	Nadan fm. (carbonates bathyaux-chert)	
Tithonique-Berr. Dogger-Malm	Guwayza fm. Gw (turbidite carbonatée)	Ar_2 (fm) (brèche carbonatée) chert Ar_2V (hyaloclastite-andésite)		
Lias	Matbat fm. Mb_2C-Mb_2LC (chert-turbidite carbonatée) Mb_2St (silt-shale-turbidite gréseuse) Mb_2 (turbidite gréseuse) Mb_2L (turbidite gréso-carbonatée)	Ar_1 (fm) (brèche carbonatée) (turbidite carbonatée) (chert)		UmL (carbonate)
Trias Moy-Sup.	Mb_1 (turbidite carbonatée) Mb_1V (basalte-Hyaloclastite)	Ar_1V (basalte)	Misfah fm. Mf (carbonate de plateforme) MfV (andésite-basalte)	UmLC (chert-carbonate) UmC (chert-shale)
Trias inf. ?	AlJil fm. Aj_2C (chert-shale) Aj_2S (grès)	?	?	UmV (basalte-andésite) (trachyte-granophyre)
Permien Sup.	Aj_1 (turbidite carbonatée) Aj_1 Sh (brèche-shale) Aj_1 V (basalte-andésite-kératophyre)		Baid fm. Bd (carbonate de plate-forme) BdV (basalte)	?

groupe Hamrat Duru, (partiellement reconnu par K.W. Glennie et al(1974) mais redéfini dans le cadre de cette étude), le groupe Al Aridh, le groupe Kawr, le groupe Umar. Les différentes formations constituant ces groupes (cf. tableau) sont essentiellement composées de faciès bathyaux, souvent turbiditiques, exceptées celles de la base du groupe Kawr, qui correspondent à des carbonates de plateforme ; le grand développement du volcanisme au Permien supérieur et au Trias moyen- supérieur est également remarquable.

RS 1971

Le bassin Hawasina : individualisation et évolution

Geological history of the Hawasina Basin

F. BECHENNEC
D. RABU
J. LE METOUR
M. BEURRIER
M. VILLEY

Le bassin Hawasina correspond à la bordure externe de la marge continentale Omanaise, où se développent du Permien Supérieur au Crétacé Supérieur, les différentes formations, volcaniques et sédimentaires, qui constituent maintenant les nappes Hawasina. Celles-ci se mettent en place au Crétacé Supérieur au cours de l'obduction des ophiolites de Samail et chevauchent la bordure nord-orientale de la plateforme arabe (Autochtone B).

– L'individualisation du bassin Hawasina se fait en deux étapes, au Permien Supérieur et au Trias Moyen- Supérieur, période à partir de laquelle il acquiert les grands traits de sa configuration générale :

. Au Permien Supérieur (Murghabien) une première phase de rifting se traduit par un important volcanisme sous-marin (base des formations Baid et Al Jil) qui présente très généralement un caractère alcalin intraplaque et parfois un caractère de tholéiite d'expansion océanique, marquant ainsi un début d'océanisation. Les sédiments sus-jacents sont essentiellement des faciès bathyaux souvent turbiditiques (membre inférieur de la formation Al Jil), cependant il se forme aussi des faciès carbonatés de plateforme (formation Baid) sur une ride qui s'individualise sur la bordure externe de ce bassin permien.

. Au Trias Moyen-Supérieur une seconde phase de rifting donne au bassin Hawasina sa configuration définitive avec un bassin interne, le bassin Hamrat Duru, (qui correspond pratiquement au bassin permien) et un bassin externe, le bassin Umar, séparés par une vaste ride (différente de la ride Permienne, au moins en partie) sur laquelle se développent des faciès carbonatés de plateforme (formation Misfah). Cette nouvelle phase de rifting est marquée par un important volcanisme

à caractère alcalin, dans les parties les plus distales du bassin Hamrat Duru (formation Matbat), sur la ride (formation Misfah) dont le soubassement est volcanique, et dans le bassin Umar dont le soubassement est également volcanique. Cette phase de rifting se traduit aussi par la généralisation des dépôts cherteux à cette époque, tant dans l'ensemble du bassin Hamrat Duru que dans le bassin Umar .

- La fin du Trias Supérieur et la majeure partie du Jurassique correspondent à une phase de quiescence durant laquelle se déposent dans le bassin Hamrat Duru des turbidites gréseuses et carbonatées (formations Matbat, Guwayza et Wahrah); durant cette même période la ride Triasique est émergée (Hardground et microkarst au toit de la formation Misfah) et alimente en clastes et en olistolithes les bassins bordiers (groupes Al Aridh et Umar) ;

Dans le bassin Umar se poursuit une sédimentation condensée essentiellement cherteuse, ce bassin étant protégé par la ride des apports terrigènes en provenance de la plateforme arabe.

- Au Tithonique Supérieur Berriasien apparaît une distension majeure qui se traduit par une généralisation de faciès bathyaux, souvent siliceux, non seulement dans les bassins Hamrat Duru (formations Sidr et Wahrah) et Umar mais aussi sur la ride triasique jusqu'alors émergée (Nadan fm.) et sur la plateforme (formation Khamah de l'autochtone B). Cet épisode distensif, contrairement aux précédents, ne donne que peu de volcanisme dans le bassin Hawasina qui réagit alors en un seul bloc subsident, avec l'ensemble de la marge.

- Une nouvelle phase de quiescence succède à cette phase distensive, et les faciès turbiditiques qui réapparaissent dans le bassin Hamrat Duru dès le Barrémien, se poursuivent jusqu'au Turonien Supérieur-Sénonien Inférieur (formations Sidr, Nayid et Wahrah). La ride quant à elle demeure submergée ; après un gap, du Berriasien au Cénomanien Inférieur, la sédimentation reprend jusqu'au Turonien Moyen avec des faciès carbonatés bathyaux (formation Safil). Le bassin Umar demeure protégé des apports terrigènes par la ride et il s'y développe toujours une sédimentation cherteuse.

RS 1972

Biostratigraphie des sédiments associés aux volcanites ophiolitiques de la nappe de Samail (Sultanat d'Oman) : conséquences tectogénétiques

Biostratigraphy of sediments associated with ophiolitic volcanites of the Samail nappe (Sultanate of Oman): tectogenetic consequences

M. BEURRIER
C. BOURDILLON DE GRISSAC
J.L. LESCUYER*
P. DE WEVER*
X. DE GRAMONT
G. HUTIN
J. LE METOUR
D. RABU
M. VILLEY

La nappe ophiolitique de Samail représente une portion de lithosphère océanique téthysienne obductée sur la plate-forme arabe du Crétacé supérieur, lors des phases précoces de l'édification de la chaîne des Montagnes d'Oman. Elle affleure en massifs d'inégale importance du nord au sud de la chaîne (cf. fig. 1).

La cartographie à 1/100 000 des zones orientale et centrale de la chaîne a permis de mettre en évidence au toit de la nappe de Samail deux épisodes majeurs du volcanisme, SV1 et SV2, associés à des sédiments pélagiques et/ou exhalatifs SU1 et SU2.

En dehors de ces zones, dans le secteur septentrional de Lasail des travaux antérieurs, (1, 2) attribuaient un âge cénomanien inférieur aux sédiments immédiatement sus-jacents aux volcanites basales SV1, et cénomano-turonien aux horizons sédimentaires intercalés dans les volcanites supérieures SV2. Ils rapportaient les sédiments les plus sommitaux SU2 à l'intervalle turonien-campanien.

Les travaux d'appuis biostratigraphique à la cartographie ont permis de montrer que dans les secteurs plus méridionaux de la chaîne des Montagnes d'Oman, les sédiments SU1, immédiatement sus-jacents aux volcanites basales des secteurs de Rakah et Mahab, contiennent une association de radiolaires caractérisant l'intervalle albien sommital à cénomanien inférieur.

Dans la région la plus méridionale de Washihi, les sédiments SU1 se sont déposés du Cénomanien au Turonien moyen.

Enfin dans le secteur de Daris, un banc de radiolarite intercalé dans les terres d'ombre sus-jacentes aux volcanites supérieures SV2 a fourni des radiolaires du Coniacien sommital au Campanien.

Ces nouvelles attributions biostratigraphiques permettent ainsi de préciser les relations spatio-temporelles entre les deux épisodes volcaniques :

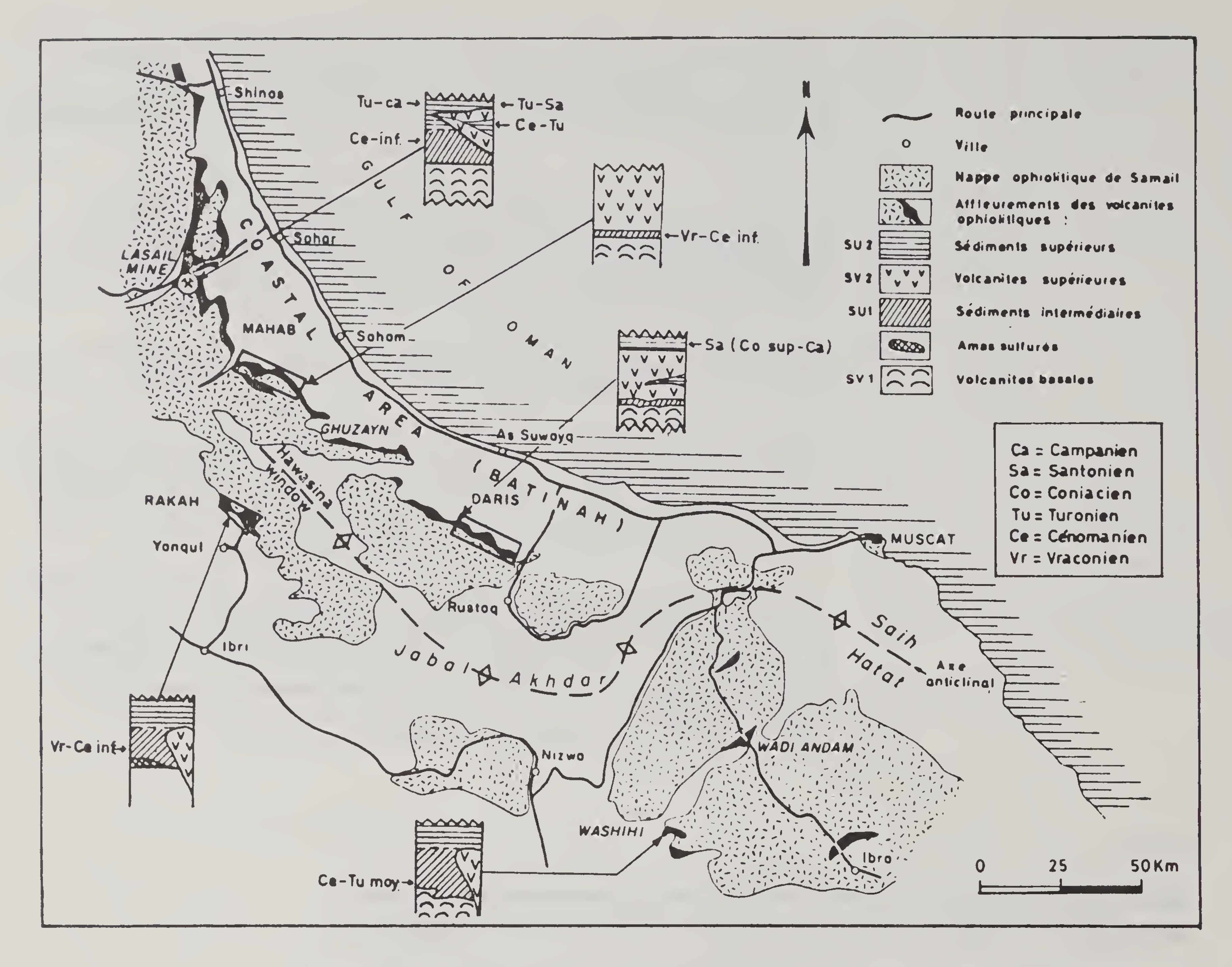


Fig. 1 : Carte de localisation des volcanites et sédiments associés de la Nappe de Samail.

1 - le volcanisme basal SV1, lié au fonctionnement d'une dorsale d'accrétion océanique date, pour l'ensemble de la nappe de Samail de l'Albien supérieur (à Cénomanien inférieur ?).

2 - le volcanisme terminal SV2 serait cénomano-turonien.

Les trondhjemites qui représentent des équivalents plutoniques des laves acides (soda-dacites et kératophyres) du volcanisme SU2, sont datés par la méthode U/Pb sur zircon à 95 ± 2 MA (3), correspondant au Cénomanien (4,5).

D'autre part, la présence de radiolarites d'âge coniacien sommital à campanien prouve que la nappe de Samail, après son détachement intraocéanique à 90 ± 3 MA (6) et pendant la première phase de son obduction s'est déplacée dans un milieu abyssal.

1) TIPPIT, P.R., PESSAGNO, E.A. jr, SMEWING, J.D., 1981, The biostratigraphy of sediments in the volcanic unit of the Samail ophiolite, Journal of Geophysical Research, V. 86, p. 2756-2762.

2) ALABASTER, T., 1982, The interrelation ship between volcanic and hydrothermal proccesses in the Oman ophiolite, Open University thesis, 408 p.

3) TILTON, G.R., HOPSON, C.A. and WRIGHT, J.E., 1981, Uranium-lead isotopic ages of the Samail ophiolite, Oman, with application to Tethyan Ocean, journal of Geophysical Research, V.86, p. 2763-2775.

4) ODIN, G.S., 1982, édition, Numerical dating in stratigraphy, Wiley and Sons, New York, 2 Vols, 1040 p.

5) PALMER, A.R., 1983, - The decade of North American geology, 1983 geologic time scale.
Geology, v. 11 ; p. 503-504.

6) LANPHERE, M.A., 1981, K-Ar age of metamorphic rocks at the base of the Samail ophiolite, Oman, journal of Geophysical Research, V. 86, p. 2777-2782.

* Laboratoire de Stratigraphie Université Pierre et Marie Curie, 4 place Jussieu - 75230 Paris Cédex 05

RS 1973

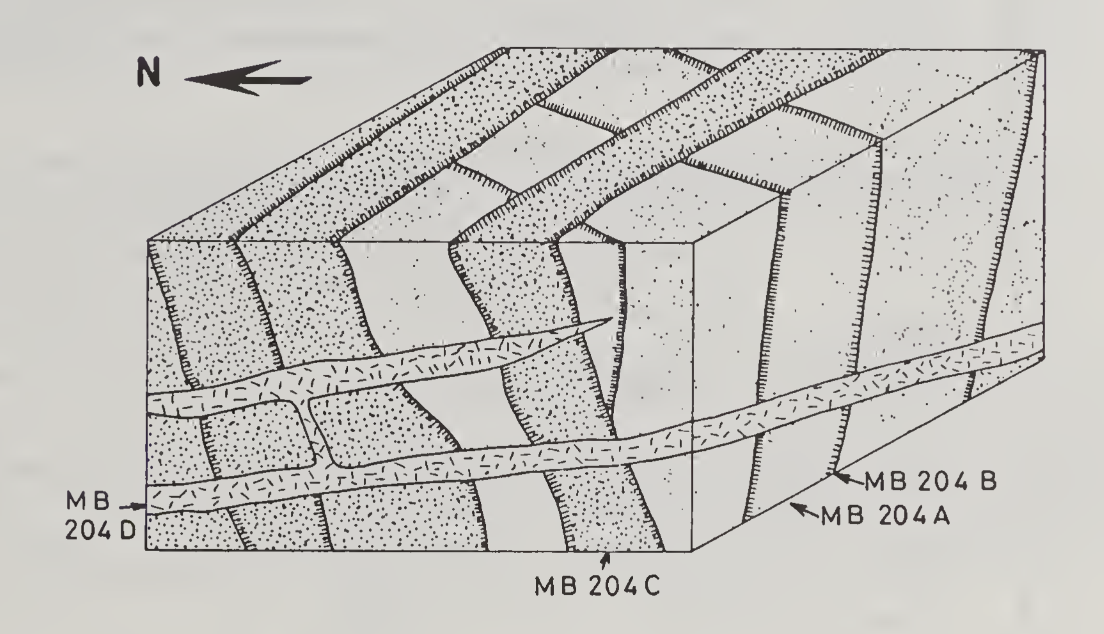
Etude préliminaire des filons hypabhyssaux liés à la nappe de Samail (Sultanat d'Oman): conséquences pétrogénétiques

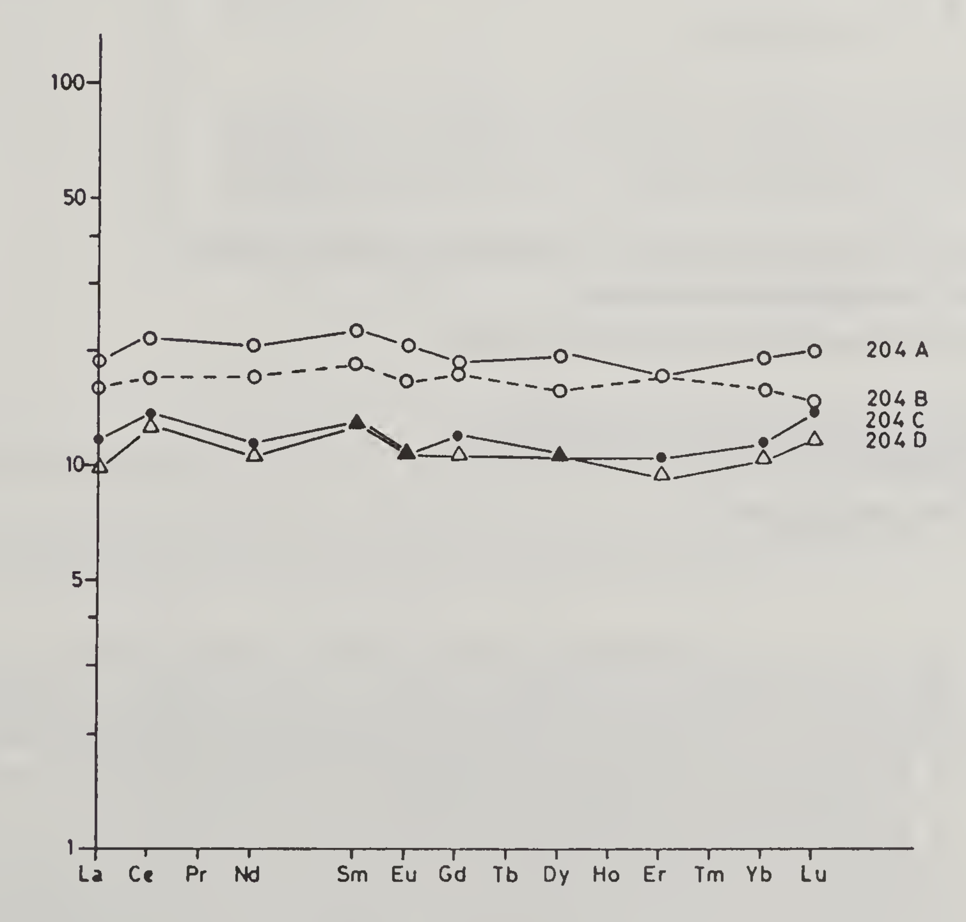
Preliminary studies of hypabhyssal dykes of the Samail nappe (sultanate of Oman): petrogenetic implications

M. BEURRIER
M. OHNENSTETTER*
M. TEGYEY
J. LE METOUR
Z. JOHAN*

Les filons hypabhyssaux de la Nappe ophiolitique de Samail ont été étudiés dans la partie centrale des Montagnes d'Oman, dans les massifs de Sarami, d'Haylayn et de Rustaq ; ainsi que dans le massif de Bahla, au front de la nappe ophiolitique. Ils existent en proportion variable dans les différents membres de l'ophiolite. Ils constituent l'essentiel du complexe filonien. Ils peuvent aussi recouper les plutonites : a) gabbros isotropes supérieurs, b) cumulats ultrabasiques et basiques lités, c) cumulats ultrabasiques peu lités.

Une chronologie de mise en place a été établie d'après leurs relations mutuelles et/ou d'après leurs relations avec les massifs intrusifs de trondhjémite ou de wehrlite. Dans les meilleurs cas, on peut définir des dykes anciens et des dykes récents dont la mise en place est éventuellement séparée par des corps plutoniques liés au fonctionnement de chambres magmatiques.





Secteur de Daris (Massif d'Haylayn) Relations entre les filons du complexe filonien et évolution des spectres de T.R. en fonction de la chronologie.

L'étude des spectres de Terres Rares de ces matériaux montre :

1) de larges variations de la composition des dykes (5 à 20 fois la composition chondritique) ;
2) l'absence (ou la faible amplitude) d'anomalie négative en Europium ;
3) l'absence de fractionnement entre T.R. légères et lourdes, à l'exception des certains filons qui recoupent les cumulats gabbroïques lités du massif de Bahla ;
4) que les filons récents, postérieurs à la mise en place des wehrlites ou des trondhjémites sont systématiquement plus appauvris en T.R. que les dykes plus anciens, il en est souvent de même dans le complexe filonien lorsque les relations mutuelles entre les dykes sont clairement établies.

Ainsi la composition des magmas ophiolitiques évoluerait avec le temps. Cette hypothèse permet de discuter de la chronologie de mise en place des filons intrudant les cumulats ultramafiques.

De ce point de vue les dykes (MB 373) recoupant les cumulats ultramafiques peu lités dans le secteur de Daris (Massif d'Haylayn) peuvent être rapportés à l'épisode magmatique récent reconnu dans le complexe filonien sus-jacent (MB 204 C et D). Cette évolution temporelle de la composition des dykes peut être parallèlisée avec celle des formations volcaniques connues dans le Nord de la chaîne Omanaise (1) où les laves supérieures de la formation de Alley sont systématiquement appauvries en T.R. par rapport à celle des volcanites inférieures de la formation de Geotimes.

5) L'évolution de la composition des magmas avec le temps suggère que les liquides parentaux dérivent de taux de fusion de plus en plus importants, ou que la source s'est progressivement appauvrie

6) L'étude comparative de nos résultats avec ceux obtenus dans la partie méridionale de la chaîne des Montagnes d'Oman (synforme d'IBRA) (2) et dans la partie septentrionale (Massif de Fizh) (3) permettra de préciser les variations des conditions de fusion avec le temps et de mettre en évidence d'éventuelles hétérogénéités de la source au long de la zone d'accrétion.

REFERENCES

1) ALABASTER T., 1982, The interrelationship between volcanic and hydrothermal processus in the Oman ophiolite. Open University Thesis, 408 p.

2) PALLISTER J.S., KNIGHT R.J., 1981, Rare - Earth element geochemistry of the Samail ophilite, Journal of geophysical, Research, vol. 86, p. 2673-2697.

3) PEARCE J.A., ALABASTER T., SHELTON A.W., SEARLE M.P., 1981, The Oman ophilide as a Cretaceaous arc basin complex : evidence and implication. Phil. Trans. R. Soc. Lond., A 300, p. 299-317.

+ GIS BRGM/CNRS

RS 1974

Le métamorphisme régional crétacé de faciès éclogites-schistes bleus sur la bordure omanaise de la plateforme arabe : conséquence d'une tectogenèse précoce anté-obduction

Regional blueschist to eclogite facies metamorphism of cretaceous age on the Oman border of the Arabian platform: consequence of an early, pre-obduction tectogenesis

J. LE METOUR
D. RABU
M. TEGYEY
F. BECHENNEC
M. BEURRIER
M. VILLEY

Les montagnes d'Oman formées successivement au cours du Crétacé supérieur puis au Tertiaire, lors de la fermeture de la Téthys, se caractérisent par le charriage des nappes sédimentaires Hawasina au cours de l'obduction de la nappe de Samail sur la plateforme arabe. La cartographie détaillée des parties orientale et centrale de cette chaîne a permis de mettre en évidence l'existence d'éclogites à glaucophane associées aux schistes bleus et démontre le caractère régional de ce métamorphisme HP/BT. La tectogénèse synchrone à vergence N et NE (plis précoces déversés puis couchés à flèche plurikilométrique) et ce métamorphisme sont à gradient croissant SO - NE. Ils affectent exclusivement les formations autochtones, socle sédimentaire d'âge Protérozoïque terminal à Ordovicien et couverture carbonatée d'âge Permien supérieur à Santonien, et se sont développés au Santonien - Campanien basal, immédiatement avant le charriage des nappes Hawasina et de l'ophiolite de Samail.

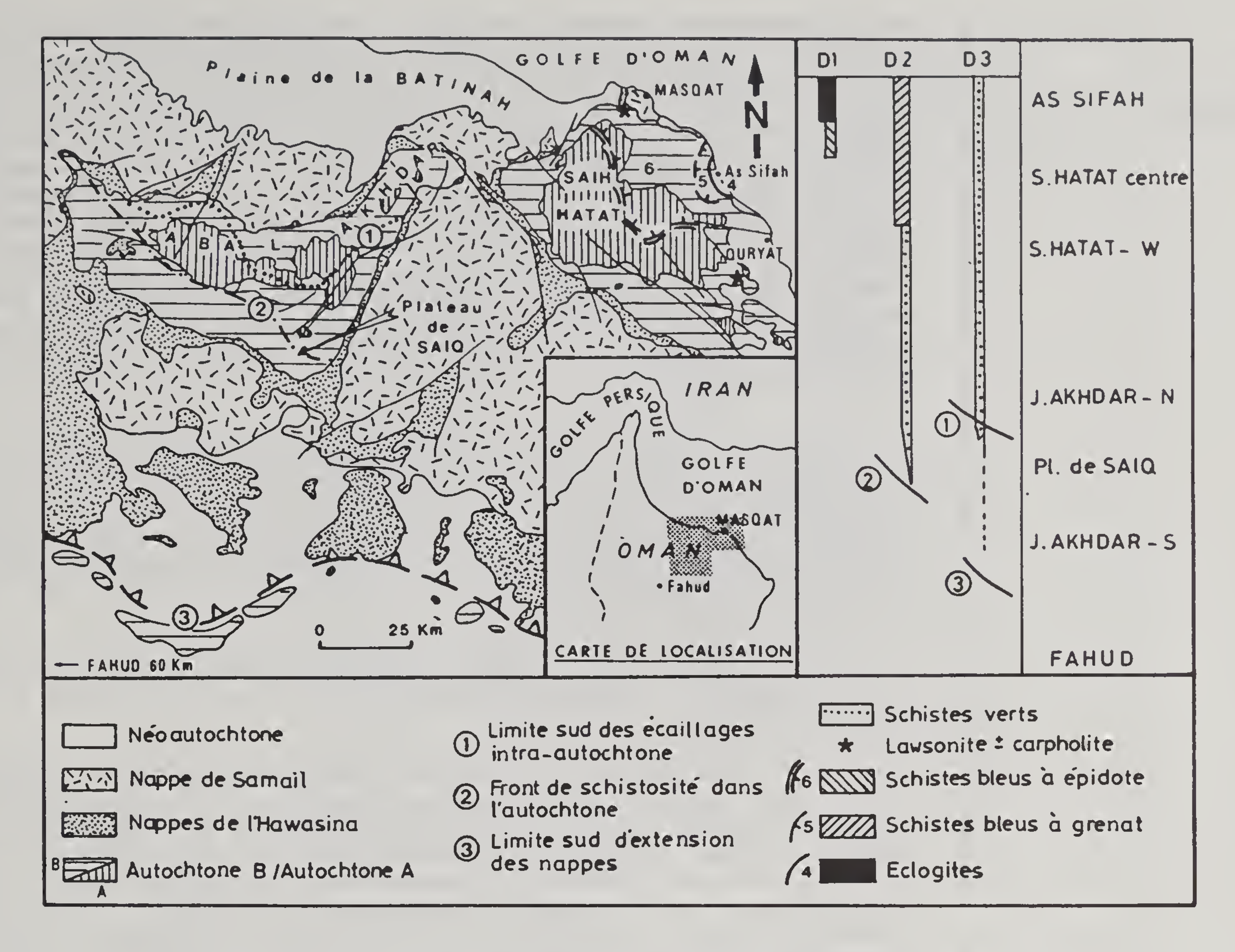


Fig. 1 : carte géologique simplifiée des Montagnes d'Oman entre Masqat et Fahud - 2 : Coupe géologique simplifiée du Saih Hatat - 3 : Tableau montrant les relations métamorphisme-déformation

Le métamorphisme régional HP/BT et la déformation cisaillante de la bordure de la plateforme omanaise résultent de son sous-charriage vers le NE (et du blocage de celui-ci) par rapport à la portion de marge passive à croûte continentale amincie. La tectogénèse à vergence Sud-Ouest, surimposée dans la pile autochtone, résulte du charriage du bassin Hawasina et de l'obduction de la nappe de Samail conformes à la subduction intracontinentale ainsi amorcée. Le métamorphisme régional HP/BT est donc à séparer de l'obduction *sensu stricto*

REFERENCE

LE METOUR J., RABU D., TEGYEY M., BECHENNEC F., BEURRIER M., VILLEY M. - Le métamorphisme régional Crétacé de faciès éclogites-schistes bleus sur la bordure omanaise de la plateforme arabe : conséquence d'une tectogénèse précoce anté-obduction - C.R.A.S., Paris, sous presse.

RS 1975

Sédimentation et tectogenèse du néo autochtone des montagnes d'Oman

Sedimentation and tectogenesis of post nappe autochthonous unit in the Oman mountains

M. VILLEY
C. CAVELIER
C. BOURDILLON DE GRISSAC
M. BEURRIER
J. LE METOUR

Les Montagnes du Nord-Oman, situées à l'extrémité orientale de la péninsule arabique sont constituées de trois ensembles géologiques majeurs :

1 - Un soubassement autochtone
2 - Des unités allochtones
3 - Des formations "post nappes".

Ce dernier ensemble est l'objet de la présente étude.

Les nappes omanaises (Hawasina et Samail) sont scellées par des sédiments marins, peu profonds, d'âge paléocène supérieur, sur le revers

D. RABU
G. HUTIN
X. DE GRAMONT

septentrional de la chaîne. Cette zone a manifestement été transgressée tardivement par rapport au revers méridional du Jabal Akdhar où les premiers sédiments marins post-nappes datent du Crétacé terminal (Maastrichtien). La transgression majeure a été précédée de déformations et d'une érosion intense des différentes unités structurales de la chaîne. Elle s'est effectuée dans un contexte tectonique toujours actif, au cours du Paléocène supérieur (Sédimentation de conglomérats dans des bassins ouverts sur des décrochements actifs, discordance locale de l'Ilerdien sur le Paléocène, accidents synsédimentaires fréquents). Les premiers dépôts sont souvent détritiques, d'épaisseur extrêmement et rapidement variable, remplissant les inégalités du substrat. Le Paléocène supérieur et la base de l'éocène (Ilerdien) correspondent en général à une mégaséquence transgressive plus ou moins tronquée à la base et/ou au sommet. Ces dépôts se développent le long d'une plate-forme entre la chaîne émergée et une mer peu profonde.

Les cônes deltaïques sous marins marnoconglomératiques très étendus au Paléocène, ménageant dans leurs intervalles des zones de marais, sont progressivement recouvert par des séquences carbonatées d'accrétion puis des faciès de haut-fond avec constructions récifales (biohermes). Cette mégaséquence interrompue à l'Ilerdien est transgressée localement au Cuisien par une mégaséquence turbide, subordonnée à des mouvements tectoniques importants euxmêmes précédemment annoncés (au paléocène supérieur, Ilerdien) par des déformations synsédimentaires abondantes.

L'Eocène moyen (jusqu'au Lutétien terminal) est bien développé en Batinah (calcaires riches en grands foraminifères). Il est raviné et transgressé par l'Oligocène.

Dans le secteur de Quryat, l'équivalent éocène de l'ennoyage lagunaire (d'âge Ilerdien), le Cuisien et le Lutétien sont inconnus à l'affleurement. Une profonde surface d'érosion subordonnée à des mouvements tectoniques importants d'âge éocène moyen entaille profondément les sédiments paléogènes jusqu'au Paléocène supérieur. Ces mouvements bien imprimés dans la déformation des carbonates sont annoncés latéralement, en Batinah principalement dans l'Eocène inférieur par une instabilité tectonique permanente révélée par des évolutions latérales des faciès très rapides (ou une disparition) par des déformations synsédimentaires, par des oscillatines verticales fréquentes, souvent localisées dans l'espace. C'est donc en complète discordance, sur les dépôts paléocènes que va venir s'appuyer l'Eocène supérieur. Mégabrèches, failles synsédimentaires, déplacement de corps récifaux sont autant de marqueurs de l'instabilité du substratum à cette époque. Celle-ci se poursuit à l'Oligocène puis au Miocène inférieur, les sédiments les plus jeunes pouvant reposer directement sur la surface d'érosion affectant le Paléocène. La sédimentation est vraisemblablement guidée par un jeu de compartiments mobiles jouant en horst et grabben depuis l'éocène supérieur.

Postérieurement aux derniers dépôts un ultime stade de compression achève l'exhaussement principal de la chaîne, et engendre des rejeux en décrochements, associant des structures plissées dans la zone de serrage principal. La dernières déformations d'âge quaternaire s'expriment par un étagement spectaculaire des paléolittoraux au SE de Queyat.

RS 1976

Stratigraphie et histoire géologique du Dhofar (Sultanat d'Oman) depuis la transgression Crétacé

Stratigraphy and geological history of Dhofar (Sultanate of Oman) since the cretaceous transgression

C. CAVELIER
J.P. PLATEL
J. ROGER
A. BERTHIAUX
C. ROBELIN

La cartographie géologique détaillée, réalisée par le B.R.G.M. au Dhofar (partie sud-ouest du Sultanat d'Oman), donne un éclairage nouveau sur l'histoire géologique de la plate-forme arabo-somalienne depuis le Crétacé inférieur jusqu'au Quaternaire et les modalités d'ouverture du Golfe d'Aden.

Histoire géologique pendant le Crétacé

Après une structuration intense du substratum précambrien à paléozoïque (BEYDOUN, 1968) et sa complète pénéplanation, la mer crétacée transgresse le Dhofar à partir de l'Ouest déposant dans l'ordre :

- Formation de Qishn, épaisse de 450 m, débutant par des niveaux détritiques relayés par des alternances marno-calcaires puis une épaisse assise calcaire souvent dolomitisée et coiffée par un hard-ground généralisé. Ces dépôts témoignent d'une forte subsidence et s'amincissent vers l'Est, disparaissant même à l'Est du Jabal Samhan dans un secteur qui restera émergé pendant presque tout le Crétacé. Age Barrémien (?) à Aptien moyen.

PERIODE		AGE	GROUPE	FORMATION
Quaternaire		Pliocène à Holocène	Salalah	Terrasses et cônes alluviaux, travertin, calcarénite littorale
Cénozoïque	Néogène	Fini - Miocène	Salalah	Conglomérat rouge
Cénozoïque	Néogène	Burdigalien moyen (?) à Tortonien		Adawnib
Cénozoïque	Néogène	Stampien à Burdigalien moyen	Taqah	Mughsayl
Cénozoïque	Néogène	Stampien	Taqah	Ashawq
Cénozoïque	Néogène	Priabonien terminal à Stampien	Dhofar	Zalumah
Cénozoïque	Paléogène	Bartonien à Priabonien	Dhofar	Aydim
Cénozoïque	Paléogène	Lutétien supérieur à Bartonien inférieur	Hadhramaut	Dammam
Cénozoïque	Paléogène	Yprésien supérieur à Lutétien inférieur	Hadhramaut	Rus
Cénozoïque	Paléogène	Thanétien supérieur à Yprésien inf. (Ilerdien)	Hadhramaut	Umm er Radhuma
Mésozoïque	Crétacé	Maastrichtien supérieur	Aruma	Sharwayn
Mésozoïque	Crétacé	Santonien à Campanien	Aruma	Samhan
Mésozoïque	Crétacé	Turonien / Coniacien		Qitqawt
Mésozoïque	Crétacé	Vraconien à Cénomanien-Turonien	Qamar	Dhalqut
Mésozoïque	Crétacé	Albien inférieur à Albien moyen	Qamar	Kharfot
Mésozoïque	Crétacé	Barrémien à Aptien moyen		Qishn
Paléozoïque		Ordovicien à Permien		Grès de Murbat
Paléozoïque		Précambrien supérieur à Cambrien moyen		Séries d'El Hota - Ain Sarit
Protérozoïque		Précambrien		Roches cristallines de Murbat

- Formation de Kharfot, constituée par plus de 300 m d'alternances à dominante marneuse et de bancs calcaires à Rudistes, l'ensemble étant coiffé par un hard-ground. Cette formation, fortement subsidente à l'Ouest, montre une grande variation d'épaisseur. Age Albien inférieur à moyen daté par les Orbitolines.
- Formation de Dhalqut, composée par un ensemble puissant au maximum de 800 m de dépôts de plate-forme montrant d'épaisses séquences de marnes et d'assises calcaires à Préalvéolines et Rudistes. Age compris entre le Vraconien et le Cénomanien supérieur, voire le Turonien. Les Formations de Kharfot et de Dhalqut sont rassemblés dans le Groupe de Qamar, dont les sédiments transgressent progressivement en onlap le substratum anté-crétacé.
- Consécutivement à un soulèvement généralisé entrainant l'émersion de la région, une phase d'altération intense s'installe au Turonien jusqu'au Coniacien (voire au Santonien inférieur ?). L'ensemble des argiles bauxitiques et de décarbonatation consécutif à cette phase constitue la Formation de Qitqawt.
- Avec le retour de la mer dans un domaine nettement restreint, s'instaure la Formation de Samhan, épaisse au maximum de 20 m et témoignant d'un arrêt de la subsidence très active jusqu'à la fin du Turonien. La formation débute par des grès et se termine par des calcaires à Rudistes, d'âge Santonien à Campanien.
- Formation de Sharwayn, constituée par une nouvelle séquence de grès et de calcaires de plate-forme, épaisse de 30 à 40 m, d'âge Maastrichtien supérieur. Les formations de Samhan et de Sharwayn constituent le Groupe de l'Aruma qui se termine par une régression généralisée.

Histoire géologique durant le Tertiaire et le Quaternaire

Une importante structuration des dépôts crétacé et leur érosion parfois forte, précédent le retour à la fin du Paléocène, correspondant à une reprise très accentuée de la subsidence.

L'enchaînement des dépôts est le suivant :

- Formation d'Umm er Radhuma, constituée de calcaires de plate-forme, épais de 400 à 600 m et d'âge Thanétien supérieur à Ypresien inférieur (Ilerdien). Une régression progressive s'amorce au sommet de cette formation et va culminer au moment des dépôts de la formation suivante.
- Formation de Rus, constituée de calcaires crayeux souvent collapsés et de dépôts évaporitiques à gypse, épais de 50 à 100 m et d'âge Ypresien supérieur à Lutétien inférieur (?).
- Une nouvelle transgression marine, dépose des shales à attapulgite relayés ensuite par des calcaires très bioclastiques de la Formation de Dammam. L'épaisseur peut atteindre 300 m ; l'âge des dépôts est Lutétien supérieur à Bartonien. Les 3 formations sont classiquement rassemblées dans le Groupe de l'Hadhramaut.

Alors qu'on enregistre dans la Péninsule arabique et en Somalie une régression rapide suivie d'une émersion généralisée, à l'Eocène supérieur et à l'Oligocène, la sédimentation marine se poursuit au Dhofar par :

- La Formation d'Aydim, composée de calcaires de plate-forme, épais de 70 à 100 m d'âge Bartonien à Priabonien.
  La régression n'atteint le Dhofar qu'au Priabonien terminal (ou Stampien basal ?) et s'exprime par :
- La Formation de Zalumah, dépôts de calcaires laguno-lacustres à Gastéropodes et Charophytes, épais d'une vingtaine de mètres. Ces deux formations spécifiques de la région, constituent le Groupe du Dhofar.

Dès l'Oligocène, la première phase de distension qui précède l'ouverture du Golfe d'Aden, se manifeste par l'invasion marine des zones côtières, avec retour à une subsidence très marquée. Les dépôts à dominante argileuse, voire sableuse, relayés par une épaisse série carbonatée de plate-forme plus interne constituent la Formation de Ashawq, d'épaisseur très variable comprise entre 50 et 700 m, datée du Stampien. Une très forte structuration, caractérisée par de grandes failles normales et des effondrements sous-marins, affecte alors les formations antérieures. Des turbidites de pied de talus, caractérisées par de fréquents slumps, brèches et olistolithes dont l'épaisseur dépasse largement 500 m, constituent la Formation de Mughsayl d'âge Stampien à Burdigalien. Les formations d'Ashawq et de Mughsayl constituent le Groupe de Taqah.

Le début de la phase d'ouverture majeure du golfe d'Aden avec apparition du plancher océanique au Burdigalien "moyen" (CHOUBERT et al, 1985), se traduit par un soulèvement généralisé du Sud du Dhofar et la mise en place des grands escarpements côtiers du type de ceux limitant la plaine de Salalah où se déposent au Miocène, en discordance angulaire nette, les sables, conglomérats et calcaires marins très littoraux de la Formation d'Adawnib.

Plus tard, viendront les puissants épandages continentaux de conglomérat rouge et enfin les systèmes alluviaux anciens à récents. Cet ensemble, depuis la Formation d'Adawnib constitue le Groupe de Salalah.

REFERENCES

BERTHIAUX A., PLATEL J.P., ROBELIN C. et ROGER J. (à paraître) - Cartes géologiques à l'échelle 1/100 000 de QAFA, TUDHO, HABARUT, MUDAYY, JADIB, HAWF, WADI ANDUR, MARBAT et SADH. BRGM Ed.

Synthèses géologiques régionales et thématiques

RS 1977

Nappes hercyniennes précoces à matériel dévonien hétéropique dans les Pyrénées ariégeoises

Early hercynian nappes with devonian heteropical deposits in the Ariege Pyrenees

J. BODIN
P. LEDRU

Trois ensembles lithologiques sont observés dans le secteur de Salau :

- Le Dévonien Nord, bien daté.
- La série carbonatée de Salau, encaissant la minéralisation en scheelite de la mine d'Anglade et passant à des shales bleutés datés de l'Eifélien par conodontes : c'est le Dévonien Sud.
- Au Sud, l'Ordovicien du dôme de la Pallaresa.

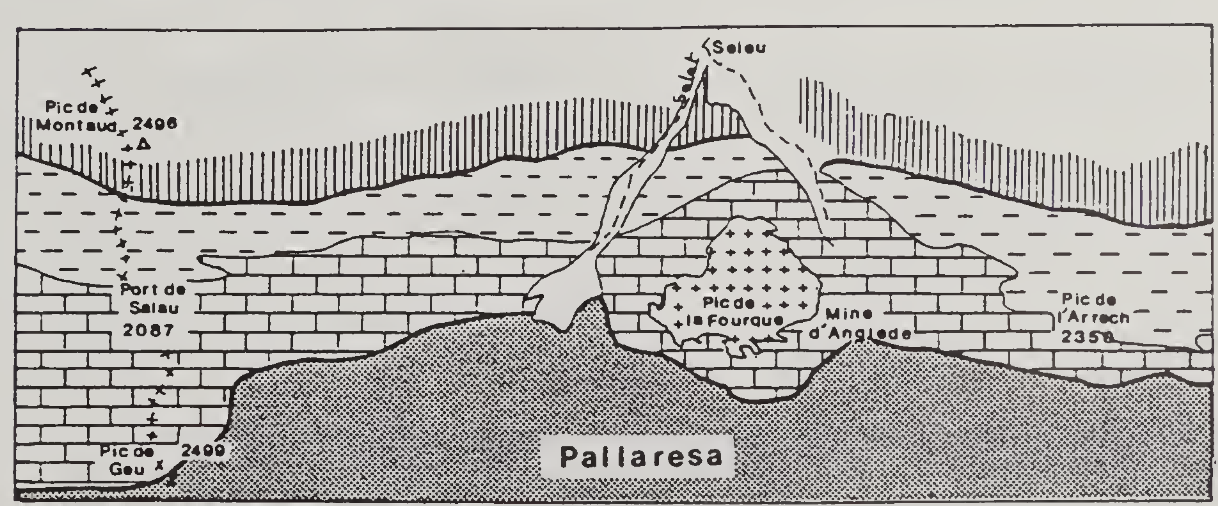
Le décollement de la série de Salau sur l'Ordovicien, au niveau des schistes graphiteux siluriens, est attribué à une phase tangentielle hercynienne précoce D1. Un contact majeur, de même phase, sépare deux séries dévoniennes hétéropiques nord et sud, l'ampleur plurikilométrique du déplacement autorise à parler en termes de nappes. L'ensemble est postérieurement affecté par la phase D2 contemporaine de l'intrusion des massifs granitiques.

Si, dans le secteur étudié, il est difficile de déterminer la vergence de ces chevauchements, il est probable qu'ils se sont faits du Nord vers le Sud compte tenu de la cinématique des phases tangentielles précoces dans d'autres régions des Pyrénées (Gavarnie). Reconnues également sur toute la bordure nord du granite de Bassiès, ces superpositions tectoniques sont corrélées avec celles décrites dans les Pyrénées orientales par D. Raymond (1980) et dans les Pyrénées occidentales par C. Majesté-Menjoulas (1981). Nous pouvons alors émettre l'hypothèse de la généralité du régime des nappes hercyniennes précoces dans la Zone Axiale des Pyrénées.

REFERENCES :

BODIN J. Thèse Univ. en préparation
BODIN J. , LEDRU P. (1986). Nappes hercyniennes précoces à matériel dévonien hétéropique dans les Pyrénées ariégeoises. C.R. Acad. Sci. Paris (à paraître).
MAJESTE-MENJOULAS C. (1981). Bull. Soc. geol. Fr. (7) t.XXIII, n° 6, p. 673-678.
RAYMOND D. (1980). C.R. Somm. Soc. geol. Fr. fasc. 6, p. 250-257.





Géologie profonde de la France

RS 1978

Modélisation 3D de l'anomalie magnétique du bassin de Paris

3D modeling of the magnetic anomaly in the Paris basin

A. GUILLEN

Les résultats résumés ici ont été réalisés dans le cadre du programme de Géologie profonde de la France phase 2 ; ils concernent la modélisation 3D de l'anomalie magnétique du Bassin de Paris dans sa partie Sud. Les modèles de la première phase, bien que réalisés en 2D½ (extension non infinie de la structure perpendiculairement au profil), donnent des résultats pessimistes (on ne tient compte que des gradients le long du profil). Dans cette phase la modélisation 3D a pour but d'affiner les limites possibles (profondeur maximale, susceptibilité) de la "structure". Pour ce faire, nous avons utilisé deux méthodes consécutivement, la seconde utilisant les résultats de la première comme information sur les contraintes possibles.

1) La programmation linéaire

Il est impossible dans le cas induit avec une "erreur" de 30 nT sur l'anomalie d'expliquer celle-ci avec une structure à plus de 3,5 km de profondeur.

2) Modélisation par isobathes

Si la structure est à 2,5 km de profondeur, il nous faut une susceptibilité minimale de l'ordre de 2500.10^{-6} u.e.m CgS, si l'on accepte une "erreur" de 15 nT.

Cette valeur est effectivement plus élevée que celle calculée en 2D½ dans la première phase.

REFERENCES :

N. DEBEGLIA (1979) - L'interprétation des champs dérivant d'un potentiel par modèles équivalents.
Thèse de 3ème cycle (soutenue à Strasbourg).

A. GERARD, N. DEBEGLIA (1975) - Automatic three dimensionnal modeling for the interpretation of gravity or magnetic anomalies.
Geophysics, Vol. 40, p. 1014-1034.

A. GUILLEN, N. DEBEGLIA (1984) - Contribution à l'étude de l'anomalie magnétique du Bassin de Paris.
B.R.G.M. 84 SGN 007 GPH.

A. GUILLEN (1985) - Modelisation 3D de l'anomalie magnétique du Bassin de Paris.
85 DT 002 GPM.

RS 1979

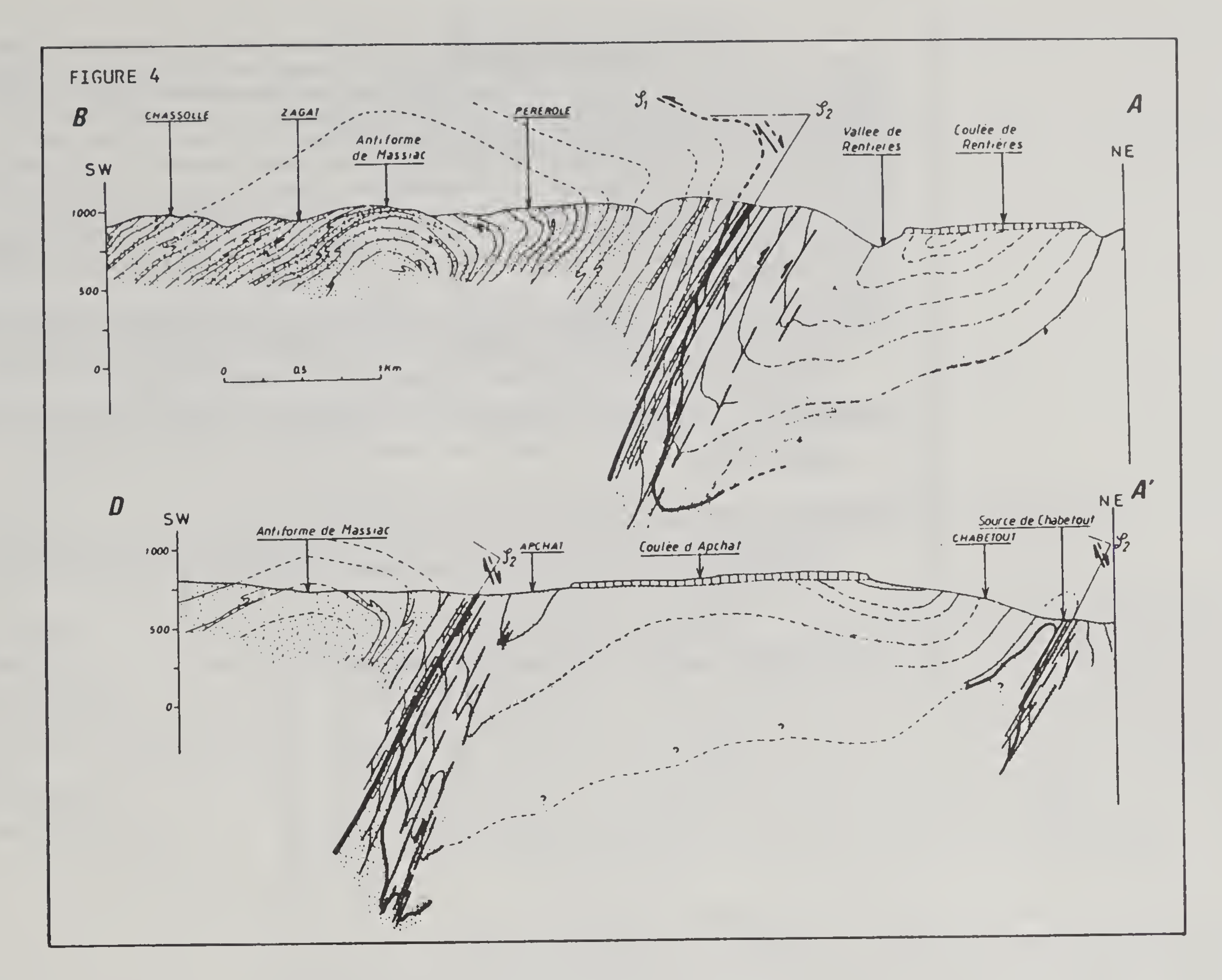
Les déformations dévoniennes synmétamorphes affectant le socle de la région d'Ardes-sur-Couze (Cézallier, Massif central)

Devonian synmetamorphic deformations in the basement rocks of the Ardes-sur-Couze area (Cézallier, Massif central)

J.L. FEYBESSE
J. MARCHAND*

Dans la région d'Ardes-sur-Couze, le socle du Cézallier présente deux déformations dévoniennes synchrones du métamorphisme varisque : une déformation synchrone de la mise en place de la nappe du groupe leptyno-amphibolique et une déformation synchrone d'un début de rétrocharriage.

La déformation D1 synchrone de la mise en place de "la nappe du groupe leptyno-amphibolique" est à l'origine d'une foliation (S1) portant une linéation (L1) et de plis isoclinaux synfoliaux déversés vers le Sud. En fonction des relations géométriques existantes entre ces éléments structuraux, deux



COUPES GEOLOGIQUES DU CEZALLIER

Programme Géologie Profonde de la France Thème 10
Géothermalisme actuel (Cézallier)

Anatexites schisteuses à cordiérite

Groupe leptino-amphibolique

Paragneiss à biotite - sillimanite

Orthogneiss de St Alyre-es-Montagne

S_1 Semelle de la nappe du groupe leptyno-amphibolique

S_2 Décrochement blastomylonitique inverse dextre de Fechal

Pour la localisation des coupes voir figure 2 et 3

d'après MATHONNAT 1983, LASNIER et al 1982, TEMPIER 1985, FEYBESSE 1985, FEYBESSE et al 1985

zones, caractérisées par un style et un mécanisme de déformation différents, ont été distinguées.

Dans la première, qui correspond à la semelle de la nappe, la linéation d'étirement (L1) N-S à NE-SW est orthogonale à l'axe des plis (P1) et portée par la foliation S1. Cette disposition ainsi que les critères de cisaillement (charnières déracinées et critères pétrostructuraux) indiquent une déformation rotationnelle impliquant un cisaillement important lié à un mécanisme de déformation intermédiaire entre l'aplatissement rotationnel et le cisaillement simple. Dans cette zone, les observations semblent indiquer un cisaillement du nord vers le sud.

Dans la seconde, située au toit et au mur de la première, la linéation (L1) WNW-ESE à NW-SE parallèle à l'axe des plis P1 et portée par la foliation S1 indique un étirement orthogonal au précédent. Les plis ayant la même direction et la même géométrie dans les deux zones et la linéation étant toujours portée par la même foliation, les déformations affectant ces deux zones semblent synchrones.

Ainsi le parallélisme de la linéation et des axes des plis parait devoir être interprété comme un changement de style et de mécanisme de la déformation résultant d'une diminution rapide du taux de cisaillement en s'éloignant de la semelle de la nappe au profit d'une composante croissante d'aplatissement de type déformation plane.

L'existence d'une déformation de type aplatissement au mur de la semelle est d'ailleurs attestée par l'absence de linéation dans les paragneiss B.S. de la région d'Aurouze qui présentent des amas de sillimanite et des clastes feldspathiques en forme de "galettes" attestant d'un aplatissement proche du type aplatissement de révolution.

Le début de rétrocharriage intervient en fin de déformation dévonienne et dans des conditions métamorphiques proches de celles qui ont régné durant la mise en place de "la nappe du groupe leptyno-amphibolique". Il se marque par des plis (P2) WNW-ESE à NW-SE (responsables de la répétition du groupe leptyno-amphibolique) déversés vers le Nord. Le flanc inverse de ses plis a évolué en décrochement blastomylonitique dextre inverse. Cette évolution du flanc inverse caractérisée par l'apparition d'une foliation S2, de plans de cisaillement (plans C) et d'une linéation d'étirement (L2) suborthogonale à l'axe des plis P2 (Mathonnat, 1983) est à l'origine d'un début de rétrocharriage de l'orthogneiss de Saint-Alyre sur "la nappe du groupe leptyno-amphibolique" (figure 1).

REFERENCES :

BURG J.M. (1983) - Tectogénèse comparée de deux segments de chaine de collision. Le sud du Tibet (suture du Tsangpo). La chaîne hercynienne en Europe (suture du Massif central). Thèse d'état U.S.T.L. Montpellier.

FEYBESSE J.L. et MARCHAND J. (1985) - Les déformations synmétamorphes affectant le socle de la région d'Ardes sur Couze (Cézallier, M.C.F.). Document BRGM n° 95.10

MATHONNAT M. (1983) - La série métamorphique du Cézallier (M.C.F.). Lithologie et structure. Relations du groupe leptyno-amphibolique avec les autres formations de la région. Thèse 3ème cycle. U.E.R. Sc. exactes et naturelles. Univ. Clermont Ferrand.

* Université de Nantes. Département des Sciences de la Terre

Géodynamique

1 - Géodynamique des arcs insulaires

RS 1980

Structures volcaniques et tectoniques sous-marines au large des côtes occidentales des Petites Antilles

Submarine tectonic and volcanic structures off the western coasts of the Lesser Antilles

Programme National SEACARIB et G.I.S. "Océanologie et Géodynamique"

P. BOUYSSE
A. MASCLE*
A. MAUFFRET**
B. MERCIER DE LEPINAY**
I. JANY**
A. LECLERC***
M.C. MONTJARET***

Organisée par une fédération de laboratoires français dans le cadre du programme national SEACARIB (IFREMER, U.B.O., U.P.C.M., I.F.P., B.R.G.M.), la campagne SEACARIB 1 s'est déroulée en avril 1985 à bord du navire de recherches américain CONRAD, à la suite d'un échange de bateaux entre la France et les U.S.A. Une partie de la mission a été consacrée à des levés bathymétriques (au sondeur multifaisceaux seabeam) et magnétométriques sur certains secteurs des flancs occidentaux immergés de l'arc insulaire des Petites Antilles, en activité depuis le Néogène ; ces reconnaissances faisant suite à des levés similaires exécutés en 1980 (campagne ARCANTE 2 - THERMOSITE) dans des zones contiguës. C'est ainsi que l'on peut considérer que la quasi-totalité des approches occidentales de la Basse-Terre de Guadeloupe et de la Martinique sont maintenant cartographiées avec un grand détail morphologique, ainsi qu'une bonne partie des versants ouest de Ste-Lucie.

Un certain nombre d'appareils volcaniques sous-marins ont été levés. Ils sont en position marginale par rapport à l'axe volcanique principal de l'archipel. Le volcan Kick'em Jenny (au nord de Grenade), le seul volcan sous-marin des Petites Antilles, est un cône de taille très réduite, culminant à -160 m. Il s'est édifié tout récemment (quelques dizaines ou centaines d'années) et était le siège de manifestations hydrothermales lors du passage du bateau. Le volcan du Directeur (Guadeloupe) est le centre volcanique sous-marin le plus important reconnu jusqu'à ce jour dans les Petites Antilles. Il s'est mis en place entre 3,3 et 2,9 Ma. Plusieurs autres appareils, de taille beaucoup plus réduite, ont été cartographiés près des côtes de Guadeloupe (notamment les pics de Bouillante) et de Martinique.

D'autre part, de grandes structures morphotectoniques, transverses ou obliques par rapport à l'arc, ont été mises en évidence grâce au seabeam. La dépression du Qualibou, bien connue à Ste-Lucie, a fait l'objet de plusieurs hypothèses quant à son origine : les levés bathymétriques permettent de conclure qu'il ne s'agit ni d'une vaste caldéra partiellement effondrée en mer, ni d'un mégaglissement. En revanche, on a noté la présence d'une dépression beaucoup plus étroite, le couloir de Soufrière, qui n'utilise que partiellement les accidents ayant contrôlé la formation du Qualibou. La faille de St Pierre, en Martinique, est un grand accident transverse qui délimite et abaisse, au nord, tout le système volcanique de la Montagne Pelée et que l'on reconnaît jusque vers les fonds de -2 000 m. Les flancs sous-marins de ce volcan montrent une morphologie remarquablement adoucie. Enfin, une grande faille oblique a été cartographiée au large de la Guadeloupe. Il s'avère qu'elle fait partie d'un plus vaste ensemble qui prend en écharpe tout le centre-nord de l'arc insulaire ; il s'agit de l'accident majeur de Montserrat-Marie Galante qui pourrait se prolonger, plus à l'est, sur plus de 200 km jusqu'à la limite de la plaque Caraïbe.

Si de tels levés constituent un outil de premier ordre pour mettre en lumière la structuration récente de l'arc (bien souvent oblitérée à terre), ils n'en présentent pas moins des aspects appliqués, notamment dans les domaines de la géothermie et de la sismologie.

* Institut Français du Pétrole, Rueil-Malmaison.
** Université Pierre et Marie Curie, Paris.
*** Université de Bretagne Occidentale, Brest.

RS 1981

Géologie du volcan Iraya et de l'île de Batan (Philippines du Nord)

Geology of Mt. Iraya volcano and Batan Island, Northern Philippines

M. RICHARD*
R.C. MAURY*
H. BELLON*
J.M. BOIRAT
A. CALDERON**

L'île philippine de Batan, située à égale distance de Taïwan et Luzon, a été visitée et étudiée pour la première fois en 1984 par une équipe de chercheurs du GIS "Océanologie et Géodynamique" de Brest. Elle appartient à l'arc volcanique actif de Luzon et résulte de la subduction vers l'Est de la croûte océanique du bassin de la mer de Chine méridionale sous la plaque mer des Philippines, au niveau du fossé Nord-Luzon (fig. 1).

Batan se compose de trois unités morphologiques et volcaniques (deux édifices volcaniques séparés par un isthme) alignées selon la direction NNE-SSO (fig. 2) :

- l'isthme de nature andésitique est d'âge miocène supérieur ;
- l'édifice méridional (Mt. Matarem), de nature basaltique et andésitique, est d'âge pliocène à pléistocène ;
- l'édifice septentrional (Mt. Iraya), également de nature basaltique et andésitique, est actif depuis le Pliocène supérieur.

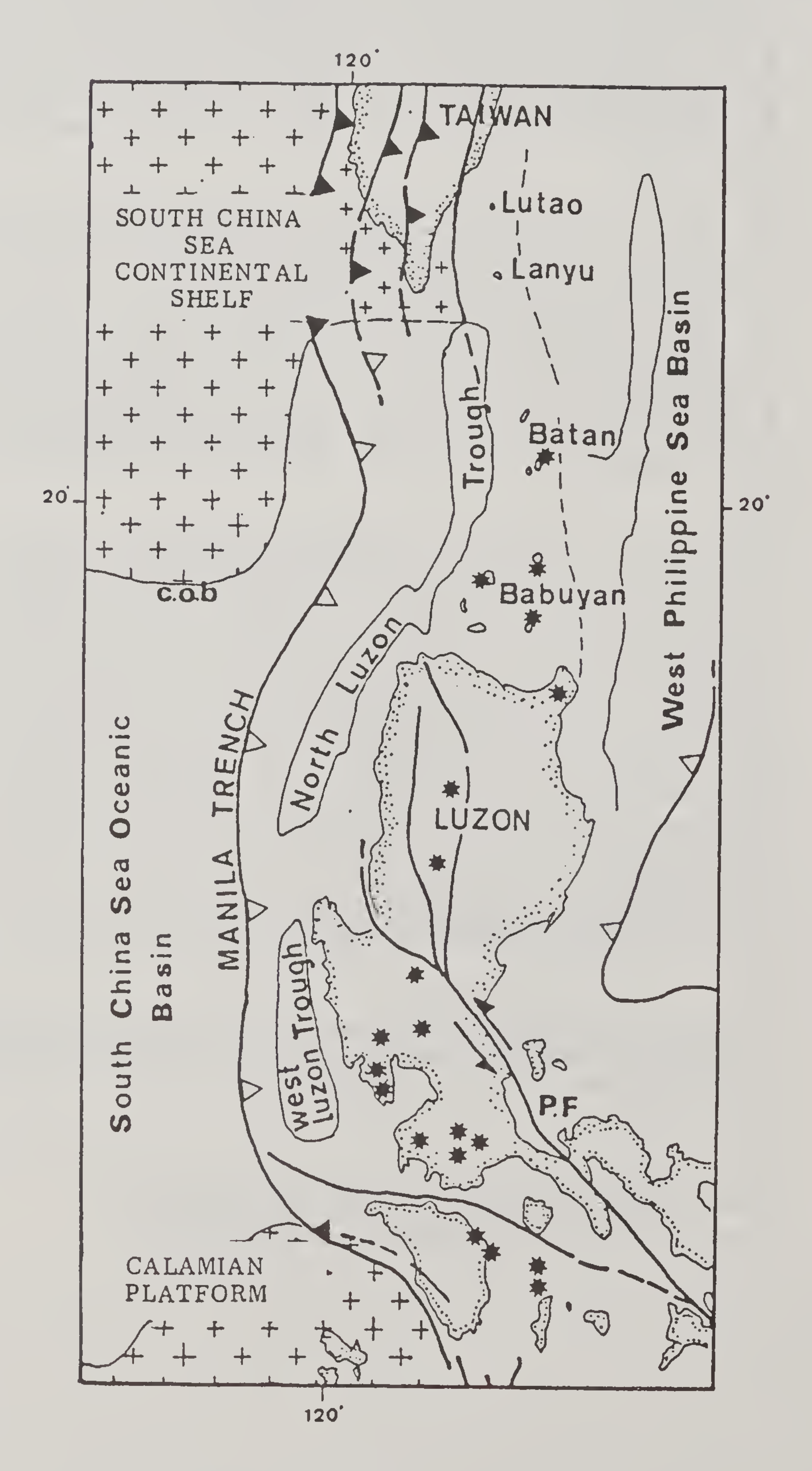


Fig. 1

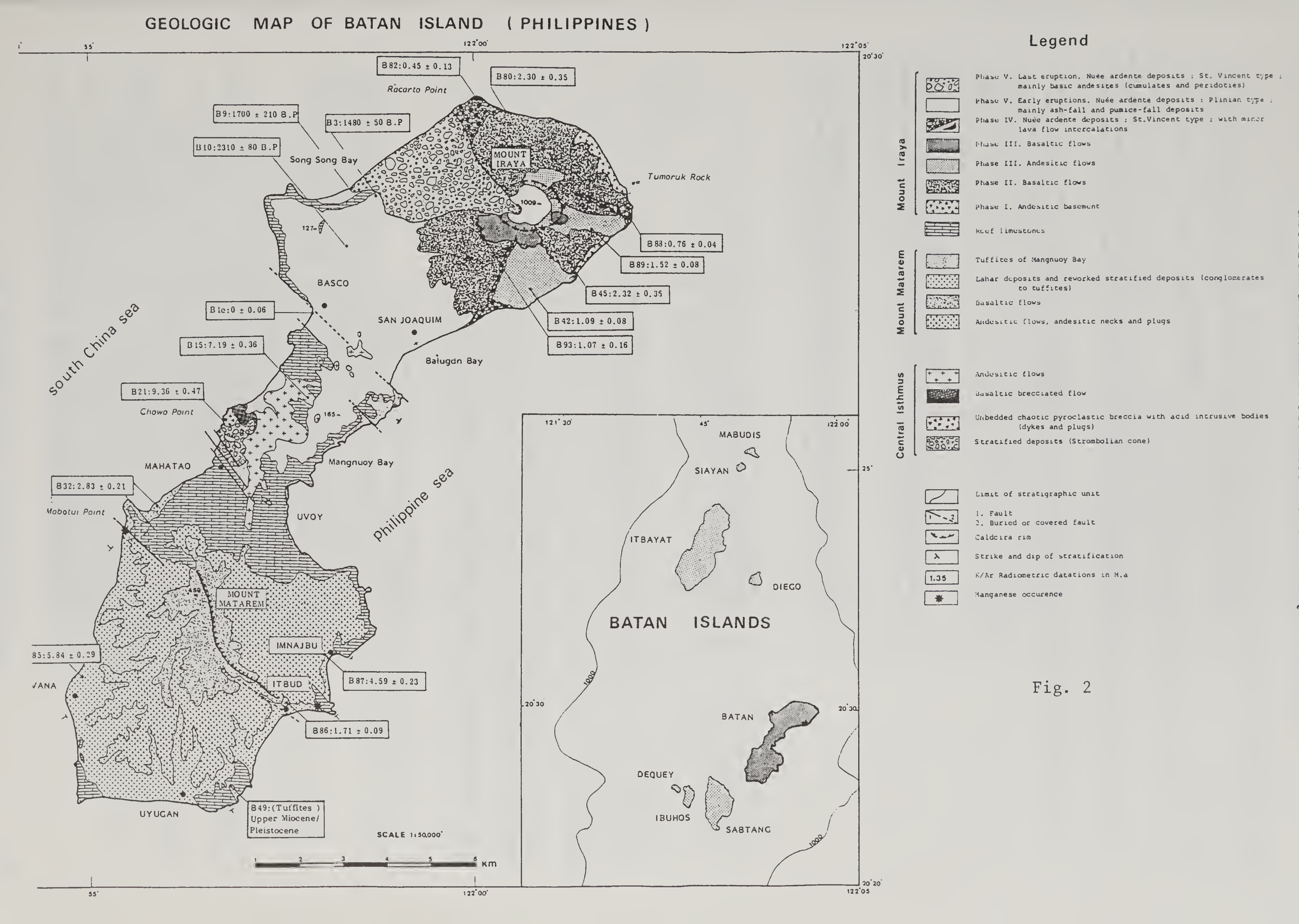

GEOLOGIC MAP OF BATAN ISLAND (PHILIPPINES)
B82:0.45 ± 0.13
B80:2.30 ± 0.35
Racarto Point
B9:1700 ± 210 B.P
B3:1480 ± 50 B.P
B10:2310 ± 80 B.P
Song Song Bay
MOUNT IRAYA
Tumoruk Rock
B83:0.76 ± 0.04
B89:1.52 ± 0.08
B45:2.32 ± 0.35
B42:1.09 ± 0.08
B93:1.07 ± 0.16
BASCO
B1c:0 ± 0.06
SAN JOAQUIM
Balugan Bay
South China sea
B15:7.19 ± 0.36
B21:9.36 ± 0.47
Chowo Point
Mangnuoy Bay
MAHATAO
Philippine sea
B32:2.83 ± 0.21
Mobotui Point
UVOY
MOUNT MATAREM
IMNAJBU
B5:5.84 ± 0.29
JANA
ITBUD
B87:4.59 ± 0.23
B86:1.71 ± 0.09
UYUGAN
B49:(Tuffites) Upper Miocene/ Pleistocene
SCALE 1:50,000
km
MABUDIS
SIAYAN
ITBAYAT
DIEGO
BATAN ISLANDS
BATAN
DEQUEY
IBUHOS
SABTANG
Legend
Mount Iraya
Phase V. Last eruption. Nuée ardente deposits : St. Vincent type : mainly basic andesites (cumulates and peridoties)
Phase V. Early eruptions. Nuée ardente deposits : Plinian type : mainly ash-fall and pumice-fall deposits
Phase IV. Nuée ardente deposits : St.Vincent type : with minor lava flow intercalations
Phase III. Basaltic flows
Phase III. Andesitic flows
Phase II. Basaltic flows
Phase I. Andesitic basement
Reef limestones
Mount Matarem
Tuffites of Mangnuoy Bay
Lahar deposits and reworked stratified deposits (conglomerates to tuffites)
Basaltic flows
Andesitic flows, andesitic necks and plugs
Central Isthmus
Andesitic flows
Basaltic brecciated flow
Unbedded chaotic pyroclastic breccia with acid intrusive bodies (dykes and plugs)
Stratified deposits (Strombolian cone)
Limit of stratigraphic unit
1. Fault
2. Buried or covered fault
Caldeira rim
Strike and dip of stratification
1.35
K/Ar Radiometric datations in M.a
Manganese occurence

Fig. 2

Une plateforme corallienne datée de 1,8 Ma recouvre partiellement les parties centrale et méridionale de l'île.

Parmi les aspects les plus remarquables de cette île, nous avons retenu les suivants :

- du point de vue pétrologique, des xénolites de roches ultrabasiques d'origine mantellique (harzburgite, dunite, lherzolite, wehrlite, websterite) ont été observés dans les laves de Mt. Iraya. Ces éléments ont subi une intense altération d'origine métasomatique ;

- du point de vue géochimique, une transition importante a été mise en évidence vers 2 Ma avec le passage de roches basaltiques et andésitiques calco-alcalines "normales" à des roches basaltiques et andésitiques calco-alcalines très enrichies en potassium et en éléments incompatibles. L'origine de cet enrichissement brutal pourrait être en relation avec des modifications du mécanisme de subduction, influencé par la collision de l'extrémité nord de l'arc de Luzon avec la marge passive chinoise (fig. 1). Cette collision active à Taïwan depuis 5 Ma se propage actuellement vers le sud en direction de Batan ;

- du point de vue gîtologique, des minéralisations manganésifères de types variés (stockwerk, imprégnations, disséminations, remplissages de cavités, filonnets, dépôts stratiformes) ont été observées à la périphérie du Mt. Matarem. Leur étude est en cours.

REFERENCE :

RICHARD M., MAURY R.C., BELLON H., STEPHAN J.F., BOIRAT J.M., CALDERON A. - Geology of Mt. Iraya volcano and Batan island, Northern Philippines. Submitted to the J. of the Geol. Soc. of the Philippines, 1985.

* GIS "Océanologie et Géodynamique", Université de Bretagne Occidentale, 29283 Brest Cedex.

** Philippine Institute of Volcanology, 5th floor, Hizon Building, 27-29 Quezon Avenue, Quezon City, Philippines.

2 - Géodynamique des massifs et bassins anciens

RS 1982

Structures et déformation dans la chaîne cadomienne (nord du Massif armoricain)

Structures and deformation in the cadomian chain (North Armorican Massif)

P. BALE*

R.C.P. 705 "Géodynamique du Massif Armoricain"

Les formations briovériennes du nord du Massif Armoricain (domaine domnonéo-mancéllien) sont impliquées dans une tectonique tardi-précambrienne : l'orogène Cadomien (Panafricain sl). L'ensemble des déformations est caractérisé par une suite de chevauchements imbriqués vers le Sud Sud-Ouest entraînant la fermeture du bassin arrière-arc de Saint-Brieuc - Belle-Ile-en-Terre le long de zones de cisaillement ductiles intenses autour de 580-590 MA. Deux chevauchements majeurs peuvent être mis en évidence : d'une part le chevauchement des séries de la baie de Saint-brieuc (ligne Saint-Cast - Saint-Brieuc - Belle-Ile-en-Terre) sur les séries briovériennes de type Lamballe, d'autre part le chevauchement des séries du Trégor sur les séries de la baie de Saint-Brieuc (ligne Palus - baie de Lannion). A l'intérieur de chaque système, il existe des chevauchements entre les unités pour accomoder les déformations internes à chaque domaine. Ces chevauchements interagissent avec des décrochements crustaux senestres Nord Nord-Est (région de Saint-Cast). L'interaction décrochement-chevauchement se développe le long de rampes frontales et latérales (en liaison possible avec des irrégularités de bordure de continent) et aboutit à une forme en arc des structures cadomiennes. L'ensemble des chevauchements majeurs entraîne un surépaississement crustal induisant une anatexie au front des unités chevauchées (Briovérien de type schistes et phtanites de Lamballe) et aboutissant à la formation de la ceinture de haute température de Saint-Malo - Guimgamp à 540 MA. Des décrochements tardifs (tardi Cadomien puis Hercynien) font rejouer ensuite de manière discontinue les contacts cadomiens. Du point de vue tectonique globale cette structuration décro-chevauchante pourrait être induite par une convergence oblique entraînant lors

de la collision arc insulaire-continent un sens senestre dominant sur l'ensemble du bloc.

REFERENCES

BALE P. et BRUN J.P. 1983 - Les chevauchements cadomiens de la baie de Saint-Brieuc (Massif Armoricain) C.R. Acad. Sc., 297, p. 359-362

BALE P. - La tectonique cadomienne dans l'Est du Trégor (Massif Armoricain) Bull. B.R.G.M. à paraître

* Centre Armoricain d'Etude Structurale des Socles - Université de Rennes
Thésard B.R.G.M.

RS 1983

Le synclinorium de Saint-Georges-sur-Loire : une unité ligérienne charriée sur le domaine centre-armoricain. Découverte de métabasite à glaucophane sur la bordure sud de cette unité

The Saint-Georges-sur-Loire synclinorium: a ligerian unit thrusted over the centro-armorican domain. Discovery of a glaucophane metabasite on the southern border this unit

P. LEDRU
A. MAROT
Y. HERROUIN

Le synclinorium de St Georges sur Loire a toujours été considéré comme une zone de discontinuité majeure du Massif armoricain (Cogné, 1977) à cause notamment de son activité volcanique siluro-dévonienne. On démontre qu'il s'agit d'une unité chevauchante du Sud vers le Nord, mise en place sur un substratum schistogréseux ordovico-silurien non affecté par cette tectonique tangentielle (série de Rochefort en Terre, synclinal de Redon).

La mise en place de nette nappe ligérienne sur les termes paléozoïques septentrionaux est postérieure au "Calcaire des Roches" d'âge Praguien (carte d'Angers), impliqué dans le chevauchement et antérieure à l'ouverture du bassin d'Ancenis qui est datée anté-frasnienne (DIOT, 1980), ce qui indique un âge Dévonien moyen compris entre 360 et 370 Ma. L'âge Rb/Sr difficilement expliqué des rhyolites dans le secteur de Fégréac (350 ± 13 Ma)(Carpenter et al, 1982) pourrait ainsi correspondre à l'âge de la déformation et du métamorphisme.

La découverte de métabasites à glaucophane sub en place dans la région de Nort-sur-Erdre renforce l'idée selon laquelle une suture majeure se situe juste au Sud du synclinorium de St Georges sur Loire. L'apparition de la paragénèse synfoliale à glaucophane-stilpnomélane est compatible avec le grand développement de micas phengitiques sur toute l'étendue du synclinorium. Il existe ainsi de bonnes présomptions pour attribuer la paragénèse à glaucophane à un écaillage crustal majeur durant lequel le sillon de St Georges sur Loire serait mis en place.

Les pressions impliquées par les paragénèses métamorphiques à glaucophane et phengite ne peuvent s'expliquer par l'épaisseur actuelle des séries paléozoïques et l'on doit envisager que la nappe originelle impliquait d'autres séries et s'étendait bien plus largement sur le Massif Armoricain.

REFERENCE

LEDRU P., MAROT A., HERROUIN Y. - Le synclinorium de St Georges sur Loire une unité ligérienne charriée sur le domaine centre-armoricain. Découverte de métabasite à glaucophane sur la bordure sud de l'unité. Comptes-rendus Académie des Sciences, à paraître.

CARPENTER M.S.N., PEUCAT J.J., PIVETTE B. (1982) : Geochemical and geochronological characteristics of Palaeozoic volcanism in the Saint-Georges-sur-Loire synclinorium (S. Armorican Massif). Evidence for Prehercynian tectonic evolution. Bull. B.R.G.M. (2) I, p. 63-79.

COGNE J. (1977) : La chaîne hercynienne ouest-européenne correspond-elle à un orogène par collision ? Propositions pour une interprétation géodynamique globale. Colloques internationaux du C.N.R.S., n° 268, p. 111-129.

DIOT H. (1980) : Recherches structurales dans la partie orientale du domaine ligérien (Massif Armoricain). Thèse 3e cycle, Nantes, 149 p.

* BRGM, SGN, BP 6009, 45060 ORLEANS
** BRGM, 10 rue Picherit, 44300 NANTES

RS 1984

Etude pétrologique et géochimique des séries de la Meilleraie et Saint-Martin des Noyers, témoins d'un volcanisme d'arc prévarisque dans la région vendéenne

Petrological and geochemical study of the La Meilleraie and Saint-Martin des Noyers series, remnants of a prevariscan arc volcanism in Vendee, France

D. THIEBLEMOND*

Les séries paléovolcaniques étudiées sont les témoins d'un magmatisme basique pré-orogénique dans la partie interne vendéenne de l'orogène varisque.

La série de La Meilleraie forme le coeur du synclinorium de Chantonnay, puissante série terrigène à intercalations volcaniques acides et basiques, bordée au NE par le craton précambrien des Mauges. Ce domaine est interprété comme un ancien bassin subsident issu de l'amincissement d'une marge continentale. Sur la bordure SO du synclinorium, et séparé de celui-ci par la faille de Chantonnay et le Sillon Houiller, s'étend le complexe des Essarts. Ce complexe est composé de deux groupes : un groupe catazonal à valeur de mélange tectonique profond au nord, en contact tectonique avec les amphibolites de Saint-Martin des Noyers qui forment son bord sud-ouest. Toujours au SO, les amphibolites sont limitées par un orthogneiss intrusif dans des schistes paléozoïques qui passent en continuité au domaine ouest-vendéen. Les relations amphibolites-orthogneiss restent à préciser.

LA SERIE DE LA MEILLERAIE

L'étude de la série de La Meilleraie a débuté sur le terrain où nous avons défini deux types magmatiques :
- les "basaltes clairs", en coulées bréchiques à pillow lavas et pyroclastites variées,
- les "basaltes sombres", roches massives généralement aphyriques interstratifiées dans les basaltes clairs sous forme de sills superficiels ou de coulées massives.

L'ensemble est partiellement recristallisé dans le faciès prehnite-pumpellyite à schistes-verts, transformation que l'on peut attribuer à une circulation hydrothermale en liaison avec la mise en place sous-marine de la série. Les types magmatiques auxquels se rattachent les deux faciès définis précédemment restent néanmoins identifiables, que ce soit par la nature des clinopyroxènes reliques, ou les compositions des laves (éléments majeurs et traces). Ces critères permettent d'identifier le caractère calco-alcalin de la série des "basaltes clairs". Les "basaltes sombres" sont quant à eux les équivalents de N-MORB. On définit ainsi une association très particulière dont les produits dérivent de deux magmas différents issus de deux sources mantelliques distinctes. L'analogie, bien qu'imparfaite avec les basaltes forés dans le bassin intra-arc des Mariannes suggère un site de mise en place arrière-arc pour la série de La Meilleraie. Elle tendrait à montrer que le synclinorium de Chantonnay a fonctionné en bassin arrière-arc sur une partie de son histoire prévarisque.

LES AMPHIBOLITES DE SAINT-MARTIN DES NOYERS

Contrairement à la série de La Meilleraie, les amphibolites de Saint-Martin des Noyers ont subi une déformation et un métamorphisme intenses dont nous avons cherché à préciser les conditions. Ce métamorphisme est associé à une phase de déformation majeure donnant une schistosité générale. En l'absence de minéraux reliques d'un épisode antérieur, on peut supposer que ce métamorphisme est monophasé. Dans les termes méta-basaltiques, la paragenèse typique est la suivante : actinote-hornblende (exsolvée), épidote, albite, actinote, chlorite, sphène. Elle situe les conditions de faciès à la limite entre les schistes-verts et les amphibolites à épidote. Différentes approches géothermométriques conduisent à une même température, de l'ordre de 500 à 550°C. Une pression assez élevée (7 à 8 Kbars ?) est suggérée par la présence de phengite et les teneurs relativement fortes des amphiboles en Na en site M4.

Sur le terrain, deux séries ont été définies, la série de Pont-Charron et la série du Petit-Lay. La première est essentiellement basaltique et tholéiitique. Elle est très semblable aux MORB actuels mais une valeur du rapport Th/Ta comprise entre 3 et 5 suggère un caractère d'arc très primitif. La série du Petit Lay présente un spectre complet de compositions, de basaltes (amphibolites) à des rhyolites (leptynites à grenat). La géochimie des éléments traces met en évidence son affinité tholéiitique d'arc évolué. Les deux séries pourraient attester du fonctionnement d'un même arc insulaire prévarisque, ultérieurement écaillé lors de l'orogenèse.

En conclusion, les séries de La Meilleraie et Saint-Martin des Noyers pourraient s'inscrire dans le cadre d'un même système arc-arrière-arc prévarisque; cette hypothèse bute cependant sur l'absence de données géochronologiques précises.

REFERENCES

THIEBLEMONT D. et CABANIS B. - Découverte d'une association de volcanites d'arc et de basaltes de type MORB dans la série paléo-volcanique silurienne de La Meilleraie. C.R. Acad. Sc., sous presse.

THIEBLEMONT D., CABANIS B., WYNS R. et TREUIL M. - Etude géochimique (majeurs et traces) de la formation amphibolitique de Saint-Martin des Noyers. Mise en évidence d'un paléo-arc insulaire dans la zone interne de l'orogène varisque. Bull. Soc. Géol. France, à paraître.

* Laboratoire de Géochimie comparée et systématique
Université de Paris VI

RS 1985

Approche géomorphologique de la néotectonique. Application à la région de Fougères (Ille-et-Vilaine)

A geomorphological approach to neotectonics applied to the Fougères area (Ille-et-Vilaine, France)

B. DEFFONTAINES

L'approche géologique de la néotectonique est rendue difficile voire impossible lorsque les sédiments récents font défaut, ou bien quand les conditions d'affleurement sont très mauvaises et ne permettent pas l'observation directe. Il faut dans ce cas avoir recours à une approche pluridisciplinaire par des données indirectes. Parmi celles-ci, l'analyse géomorphologique quantitative est susceptible de fournir des renseignements nombreux et importants. Un effort particulier a été fait pour aboutir à la mise au point d'une méthode normalisée utilisable en routine. Les marques d'une déformation néotectonique enregistrées dans le relief ont tendance à disparaître sous l'action de l'érosion et du temps. Pour les déceler de façon indirecte, les cartes topographiques et les images de la télédétection, à des échelles différentes et complémentaires sont des outils de choix. Le réseau hydrographique et les paléo-surfaces sont traitées qualitativement et quantitativement. Les traitements sont obtenus à partir d'une analyse bibliographique critique. Pour le réseau hydrographique, il s'agit en particulier, de déterminer les orientations, les longueurs, les profils en long, les ordres ... des drains ou des vallées et de mesurer des périmètres, des surfaces de bassins versants. Les paléosurfaces sont déterminées grâce aux choix orientés de points cotés. On obtient ainsi un document brut. L'analyse du document brut fait ressortir des gradients de pente, des orientations préférentielles ... que l'on appelle anomalies.

Leur interprétation à l'aide des documents cartographiques permet d'identifier les rôles respectifs de la lithologie, la structure, l'homme et le climat. Certaines anomalies ne reçoivent pas d'explication : elles peuvent traduire l'action d'une néotectonique. Les résultats sont représentés sur une carte morpho-néotectonique (fig. 1).

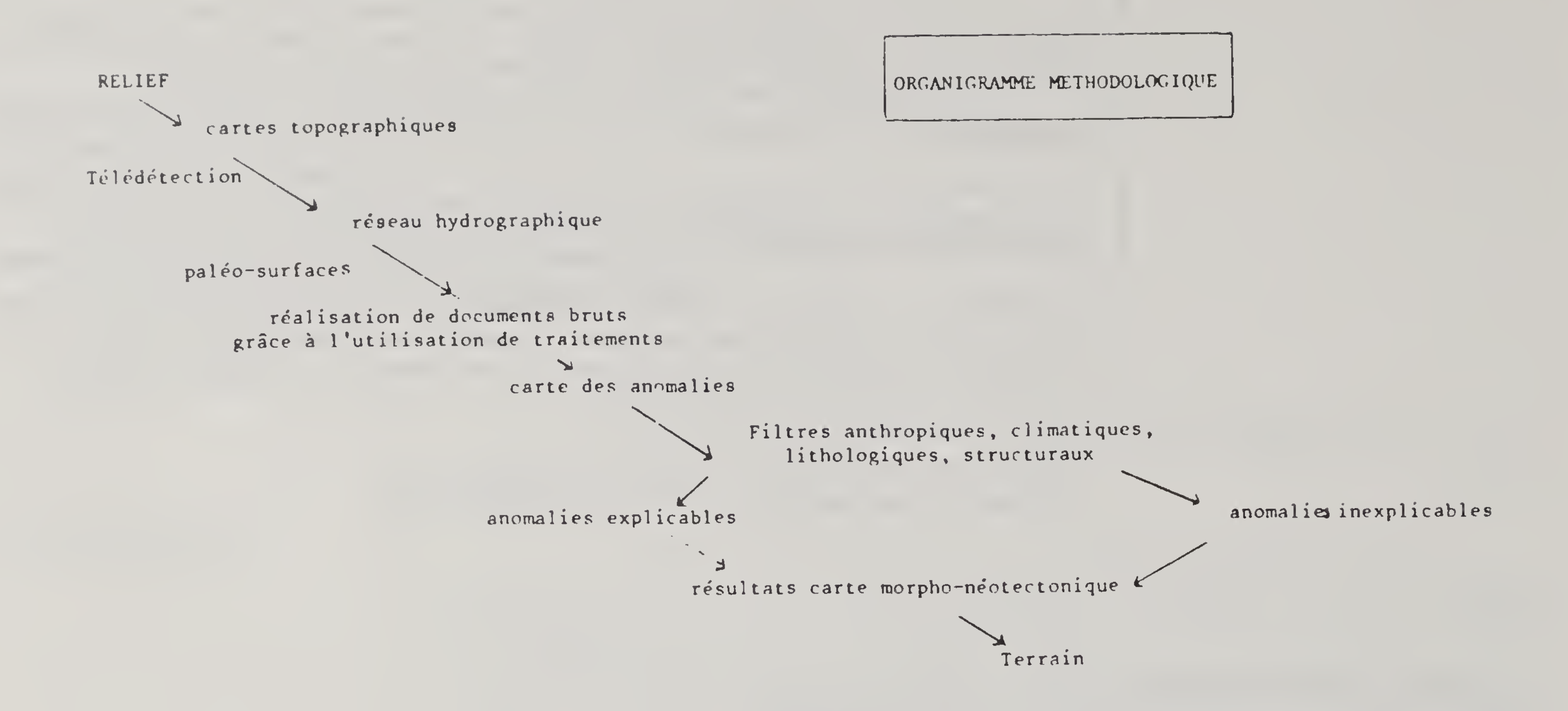
Deux points importants doivent être soulignés :

- la signification et la nature des anomalies révélées sont rarement connues : une étude de terrain est toujours indispensable,
- la précision de l'anomalie est fonction de l'échelle de travail choisie initialement.

En conclusion, cette méthode géomorphologique propose une interprétation du terrain étudié en zones plus ou moins stables qui réduisent d'autant le périmètre d'investigation de tous travaux ultérieurs en néotectonique. La formalisation de cette méthode est en cours. L'organigramme méthodologique résume l'état actuel de la réflexion.

REFERENCES

DEFFONTAINES B. (1986) - Proposition d'une méthode géomorphologique permettant une approche de la néotectonique en pays tempéré. Exemple d'application : la région de Fougères. Rapport BRGM 85SGN659GEO, 107p + annexes.



54,1 g'
53,9
53,6
4,4 g'
4,0
3,6 g'
0 5 10 km

LEGENDE:

ANOMALIES PROBABLES

ANOMALIES HYPOTHETIQUES

Fig. 1 : Carte des anomalies susceptibles d'être expliquées en terme de néotectonique (d'après la méthode de P. FREYTET (1985))

RS 1986

La région de Huelgoat (Finistère central) dans le contexte géodynamique armoricain

The Huelgoat area (Finistère Department) in the Central Armorican domain during the caledonian and variscan periods

C. CASTAING
J. ROLET*
P. CHEVREMONT
J.Y. CALVEZ
P. THONON*

A l'occasion de la mise au point de la carte géologique HUELGOAT à 1/50 000, l'évolution géologique de la région est reconstituée en intégrant les évènements observés dans un contexte plus global, au niveau du Domaine centre armoricain occidental, durant la période calédono-varisque.

Après une période en distension, correspondant à l'installation de bassins de plate-forme ordovico-dévoniens, mais troublée par l'existence de paléo-rifts et de possibles évènements tectoniques calédoniens, l'orogénèse bretonne tardi-dévonienne structure le Domaine.

C'est dans un régime tectonique cisaillant dextre, découlant de la convergence des plaques Armorique et Aquitaine, que les sédiments ordovico-dévoniens acquièrent leur structure polyphasée synmétamorphe, que les granites médio-armoricains (type Huelgoat) se mettent en place, et que, en surface, commencent à s'ouvrir les grands bassins carbonifères (type Châteaulin), grâce au fonctionnement de grands cisaillements crustaux.

L'ultime serrage varisque namuro-westphalien structure ces bassins, au détriment des domaines déjà déformés lors de la phase bretonne. La première phase cassante tardi-hercynienne confirme la direction de raccourcissement NW-SE perpétuée depuis la phase bretonne, puis à la fin du Paléozoïque un nouveau régime de contraintes engendre une compression N-S.

* Université de Bretagne occidentale, 6 avenue Le Gorgeu, 29287 Brest Cedex

RS 1987

Le Jurassique dauphinois entre Durance et Rhône. Etude stratigraphique et géodynamique (Alpes occidentales françaises)

The Dauphinois Jurassic between Durance and Rhône rivers stratigraphic and geodynamic studies (French Alps)

J.C. BARFETY

Etude réalisée dans le cadre d'un doctorat d'Etat de l'université de Grenoble I

L'ouvrage rassemble toutes les données stratigraphiques acquises sur le Jurassique lors du lever des cartes géologiques dans le domaine de la couverture sédimentaire des massifs cristallins de la zone dauphinoise des Alpes occidentales entre la Durance au Sud et le Rhône au Nord : c'est-à-dire les bordures du massif du Pelvoux, de Belledonne, La Mure, les Grandes Rousses, le Rocheray et partiellement celles du Mont-Blanc et des Aiguilles Rouges.

Les terrains étudiés sont le Lias, le Dogger (jusqu'à la base des Terres noires) et aussi le Malm, situé sur le Pelvoux ou à l'Est de Belledonne.

Le travail repose sur l'élaboration d'une stratigraphie aussi détaillée que l'a permis la découverte de fossiles (ammonites) toujours assez rares et sur la cartographie de formations lithologiques bien définies malgré l'importance des déformations alpines.

Cette thèse comporte deux volets :

1 - Une étude analytique de toutes les données stratigraphiques, paléontologiques et paléotectoniques, tant personnelles que réalisées avec d'autres auteurs afin de donner un panorama complet du Jurassique des régions parcourues. L'étude a été divisée en deux secteurs : l'un au Sud de Grenoble, l'autre au Nord, la limite entre les deux étant la vallée de la Romanche, transversale à toute la zone dauphinoise. Chaque secteur débute par la présentation d'une coupe de référence, relativement fossilifère et peu tectonisée : la coupe du Pont du Prêtre (Valbonnais) au Sud, caractéristique des séries épaisses, la coupe d'Allevard au Nord où les dépôts sont plus condensés.

On parcourt ensuite chaque secteur d'Ouest en Est en le subdivisant en chapitres :

- le secteur sud permet d'examiner successivement : le bord ouest et sud-ouest du Taillefer et du Pelvoux, de La Mure à Rémollon, puis les dépressions sédimentaires du Pelvoux : du Bourg-d'Oisans à Valsenestre, de Venosc à Villard Loubière, de Villard d'Arène à l'Eychauda et à Ailefroide, et la bordure nord du massif ;
- le secteur nord est exploré en suivant le bord ouest de Belledonne de Vizille à Flumet, l'espace compris entre l'Est de Belledonne et les zones internes des Alpes (ou dauphinois oriental) : Pays des Arves, Maurienne, Tarentaise et Beaufortain, puis l'extrémité nord de Belledonne et la jonction avec Aiguilles Rouges et Mont-Blanc dont on détaille les séries de couverture.

A la fin de chaque chapitre, une courte conclusion rassemble des faits paléontologiques (par des tableaux), sédimentologiques (milieu de dépôts), paléotectoniques et stratigraphiques (coupes corrélées).

2 - Le deuxième volet du travail consiste en un essai de synthèse dont les trois thèmes sont la Stratigraphie, l'Organisation structurale et la Paléogéographie du domaine étudié replacé dans un contexte plus général.

STRATIGRAPHIE

En s'appuyant sur une figuration synthétique comprenant : des tableaux de corrélation lithostratigraphiques par étage, des corrélations de coupes entre le Drac et l'Est du Pelvoux, des cartes de variations régionales des faciès du Jurassique et des cartes d'isopaques du Lias calcaire, du Lias schisteux et du Dogger, on constate qu'en plus des variations dans le sens W-E qui est celui de la polarité de la chaîne, des changements importants se font du Sud vers le Nord. Cela se traduit par des réductions d'épaisseur et des faciès différents mais aussi par une évolution inverse des dépôts : d'abord argileux (Hettangien), puis finement sableux (Sinémurien) et ensuite calcarénitiques (Lias moyen-supérieur au Nord), biodétritiques minces (Hettangien) puis carbonatés (Sinémurien-Carixien) et ensuite argilo-micacés à passées calcaires (Domérien-Toarcien) au Sud, les limites de formations étant souvent hétérochrones.

Si au Nord on reconnaît des variations de faciès importantes, on ne sait dire si elles sont commandées par une tectonique jurassique, au Sud par contre, en de nombreuses localités on a la preuve de mouvements syn-sédimentaires (failles, olistolites).

A partir du Toarcien supérieur, la dualité entre les deux régions s'estompe, la sédimentation devenant plus uniforme, les dépôts condensés sont moins fréquents. Les sédiments du Bajocien au Malm, mieux connus actuellement, enregistrent les derniers mouvements distensifs.

Il est remarquable de constater que le Lias, largement prédominant au Sud est plus difficile à repérer au Nord entre l'Isère et le Rhône et que, par contre, le Malm y est mieux représenté.

ORGANISATION STRUCTURALE

Grâce aux apports de la stratigraphie, bon nombre de structures ont pu être déchiffrées et un essai d'organisation des ensembles sédimentaires nouvellement définis a pu être proposé. Ainsi un schéma structural a été dressé au 250 000e : on constate que plusieurs unités aux caractères stratigraphiques propres se succèdent d'Ouest en Est et qu'il y a une relative continuité des ensembles d'un bout à l'autre de la zone dauphinoise :

- la couverture sédimentaire, à l'Ouest des massifs cristallins, bien continue et assez homogène du Drac au Rhône,
- un ensemble pli de Morcles - pli du Mont-Joly, relié par le flanc est du "synclinal de Chamonix",
- la bordure orientale de Belledonne - Taillefer,
- la couverture du Pelvoux ouest (Rochail) et Grandes Rousses qui s'effile vers le Nord,
- les séries décollées de l'arrière du Mont-Blanc (Helvétique) se continuant à l'Est de Belledonne,
- une unité à Aalénien ou unité Crête des Gittes-Montagne de la Crevasse, pouvant correspondre au Pelvoux central,
- les unités dauphinoises les plus internes.

PALEOGEOGRAPHIE

Une esquisse paléogéographique est dressée, pour chaque étage, des environnements sédimentaires du domaine dauphinois, après un recensement complet des indices paléotectoniques du Jurassique, encore repérables de nos jours. Il est clair qu'à la latitude La Mure, Taillefer, Pelvoux, durant tout ou partie de cette époque (avec le paroxysme au Domérien - Toarcien), la sédimentation a été commandée par le jeu de blocs de socle découpés par des failles normales à regard est (ou nord-est, ou sud-est), mais cela est loin d'être la règle générale, et plus au Nord ce mécanisme n'a pas été reconnu.

Les reconstitutions paléogéographiques s'appuient pour chaque étage, outre les documents déjà cités, sur une série de coupes transversales à la chaîne, avec épaisseurs estimées et sur des cartes à petites échelles (du Massif Central aux Alpes internes) : en conclusion, au Lias régnait un dispositif complexe divisant le domaine dauphinois en plusieurs parties que l'on a tendance à rattacher aux régions environnantes plutôt qu'à regrouper en une entité propre :
- la partie sud, à sédimentation fine, épaisse et monotone, est le bord du bassin du Sud-Est et la multiplicité des indices paléotectoniques (même orientés perpendiculairement à cette bordure) serait une preuve de la mobilité de ce secteur ;
- la partie ouest et nord-ouest avec ses épaisseurs plus faibles et ses faciès de plate-forme pourrait constituer le prolongement de l'Est lyonnais ("Eperon lyonnais") ;
- la partie nord et nord-est se raccorde à la zone helvétique ;
- l'Est de la zone dauphinoise évoque les zones internes des Alpes.

Si au Lias, les lignes isopiques étaient E-W, elles deviennent plus méridiennes au Dogger et au Malm, et le dispositif sédimentaire est plus homogène, peut-être parce que la Téthys s'élargissait vers l'Ouest et le Nord, repoussant ses bordures hors de la zone dauphinoise étudiée ici.

RS 1988

Modification du champ de contraintes dans le Couloir rhodanien entre le Miocène et l'Actuel

Modification of the stress field in the Rhodanian valley from the Miocene up to the present day

J.L. BLES
Y. GROS

Des études structurales menées en 1976 et complétées en 1984 et 1985 sur les déformations des terrains néogènes et quaternaires du couloir rhodanien permettent d'affirmer que la compression E-W de la fin du Miocène ne se perpétue pas au Pliocène ni au Quaternaire, tout au moins entre Vienne et Montélimar.

Dans la molasse vindobonienne de la bordure est du couloir rhodanien, la compression E-W alpine de la fin du Miocène induit des failles inverses et des plis anticlinaux N-S (Saint-Lattier et Varacieux).

Par contre, les sables et argiles du Pliocène du couloir rhodanien sont pour leur part indemnes de plis et montrent de petites failles normales dont l'orientation varie de N-S à NW-SE. Ces petites failles (rejet maximum de 1 m) sont induites par une distension E-W à NE-SW, incompatible avec la compression E-W qui caractérise la phase alpine fini-Miocène. Ces structures correspondent à la manifestation près de la surface d'une distension qui a pu être induite localement par le régime global de compression qui règne actuellement sur cette partie de l'Europe occidentale.

Ce champ de contrainte actuel résulte de la collision des plaques africaine et européenne, affrontement qui caractérise le Tertiaire et le Quaternaire. A l'Ouest du chevauchement pennique frontal, la direction de compression actuelle, déduite du calcul des mécanismes au foyer des séismes ou des mesures de contrainte in situ, varie de N-S à NW-SE.

Très souvent (région de Grenoble et Nord du Massif central), les mécanismes correspondent à un jeu en décrochement ($\sigma2$* verticale et $\sigma1$ horizontale et orientée N-S à NW-SE), mais parfois (Sud-Ouest du Massif central et Vendée), ils indiquent un régime tectonique distensif ($\sigma1$ verticale, $\sigma2$ horizontale et $\sigma3$ demeurant orientée NE-SW), analogue à celui qui doit être à l'origine de la genèse des petites failles normales du Pliocène du couloir rhodanien, entre Vienne et Montélimar.

On en déduit que, dans cette partie du couloir rhodanien, la contrainte E-W résultant de la collision de l'Apulie avec la plaque ouest-européenne ne se manifeste plus depuis le Pliocène inférieur, à l'Ouest du front pennique frontal. Cette compression E-W a été remplacée par la compression N-S à NW-SE qui résulte de l'affrontement direct des plaques africaine et européenne et qui se transmet à travers le détroit de Gibraltar et la microplaque ibérique.

Dans le couloir rhodanien, l'effet du poinçonnement de l'Apulie n'est plus prépondérant.

* $\sigma1 > \sigma2 > \sigma3$ sont les contraintes principales qui s'exercent suivant des axes perpendiculaires

REFERENCES

BERTRAND L., BOUILLEAU M., DURAND E. (1983) - Méthode d'évaluation du tenseur des contraintes à partir de tests de fracturation hydraulique. Rapport BRGM 83 SGN 914 GEG-IRG.

BLES J.L., GRAILLAT A., GUIOL J.M., et LIENHARDT M.J. (1984) - Extension et structure des marnes oligocènes du bassin du Bas-dauphiné (Drôme et Isère) Journée sur les argiles, 13 décembre 1984, Ecole des Mines de Paris.

GROS Y. (1983) - Etude géoprospective d'un site de stockage; tectonique prospective. Durée des phases compressives et distensives récentes, évolution du champ de contrainte dans les 100 000 ans à venir. Rapport BRGM 83 SGN 210 GEO.

GROS Y. (1984) - Néotectonique dans la vallée de Rhône entre Lyon et le confluent du Rhône et de la Drôme. Note BRGM 84 GEO ET 37.

RS 1989

Organisation et genèse d'un grand batholite orogénique : le batholite calco-alcalin de la Corse

Structure and genesis of an orogenic batholith: the composite calc-alkaline batholith of Corsica

Ph. ROSSI*

Action concertée C.E.E. : MSM 031 F.

Le travail présenté propose un modèle de genèse d'un batholite calco-alcalin composite en contexte ensialique à partir des levers cartographiques et des analyses pétrographique, minéralogique et géochimique du batholite corse.

- La première partie traite de l'organisation du socle anté-batholitique et permet de montrer que le plutonisme le plus précoce à caractère magnésio-potassique (Mg-K) s'est mis en place entre deux socles de structuration respectivement anté-varisque à l'Ouest et varisque à l'Est.

- La seconde partie est consacrée au plutonisme calco-alcalin magnésio potassique en Corse occidentale (monzonites quartziques à syénogranites avec roches basiques type "vaugnérites"). Les granitoïdes proviennent de la cristallisation d'un magma issu de la fusion d'une croûte continentale, dans un climat granulitique. Les roches basiques d'origine mantellique ont subi une forte hybridation avec les magmas d'origine crustale.

- La troisième partie traite du magmatisme calco-alcalin, elle est divisée en deux sections :

La première section est consacrée aux granitoïdes. Les intrusions successives de granodiorites, monzogranites et monzogranites leucocrates sont décrites d'un point de vue structural, pétrographique et géochimique. La structuration de l'ensemble des granodiorites, des monzogranites et des roches basiques associées est orientée NO-SE. Les intrusions de monzogranites leucocrates, orientées NE-SO, discordantes dans l'ensemble précédent sont l'expression d'un plutonisme tardif mis en place dans des directions qui préfigurent la distension triasique. Les granitoïdes calco-alcalins proviennent de la fusion sous forte $p(H_2O)$ d'un protolite de même composition que celui ayant donné naissance aux magmas Mg-K. Les relations entre le socle anté-batholitique, le plutonisme Mg-K précoce, le plutonisme calco-alcalin et le volcanisme permien permettent d'établir que la mise en place du batholite s'est déroulée durant une période de forte surrection du bâti.

La seconde section traite des roches basiques associées aux granitoïdes. Deux subséries y ont été définies qui évoluent par cristallisation fractionnée à partir d'un magma à composition de basalte hautement alumineux.

. Une subsérie "peu hydratée" (wehrlite-troctolite-anorthosite-gabbronorite-diorite à olivine-monzonorite-granodiorite à opx-cpx.

. Une subsérie "hydratée" (gabbro diorite à amphibole - gabbro à amphibole - diorite à amphibole).

Les granodiorites, les diorites quartziques et les enclaves sont interprétées comme des termes hybrides entre un pôle basique d'origine mantellique et un pôle granitique d'origine crustale.

- La quatrième partie propose une reconstitution géodynamique du "microcontinent corso-sarde" durant le Carbonifère. Au Dévonien un compartiment oriental "Austro Alpin" est charrié sur le continent occidental "Ebre-Aquitaine" vers 430-400 MA. Les granitoïdes Mg-K sont issus de l'anatexie dans des conditions où P $p(CO_2) > p(H_2O)$ de la base de la croûte Austro-Alpine qui subit une fusion due à sa

remontée adiabatique. Les granitoïdes calco-alcalins proviennent de la fusion de la même croûte Austro-Alpine, mais en contexte hydraté, tandis que les roches basiques résultent de la fusion de "coins" de manteau engagés dans le chevauchement (suture) entre les deux croûtes continentales.

La mise en place des plutonites calco-alcalines se déroule pendant la remontée isostatique du bâti due au surépaississement crustal, durant une phase de relaxation, postérieure à la collision.

REFERENCE :

ROSSI Ph. (1986) - Organisation et genèse d'un grand batholite orogénique : le batholite calco-alcalin de la Corse, Thèse d'Etat, Toulouse, 340 p. Document B.R.G.M. N° 107.

+ GIS BRGM/CNRS, 1A rue de la Férollerie, 45071 Orléans cedex 2

RS 1990

Signification des complexes basiques-ultrabasiques associés aux granitoïdes tardi-hercyniens dans l'évolution de la chaîne varisque du Sud de l'Europe

Significance of basic-ultrabasic complexes associated with late-hercynian granitoids during the evolution of the variscan chain in Southern Europe

M. OHNENSTETTER*
Ph. ROSSI*

Les caractéristiques pétrologiques des complexes rubanés basiques à ultrabasiques contemporains et/ou postérieurs aux granitoides calco-alcalins tardi-hercyniens ont été dégagées dans le secteur de la Méditerranée : Corse, Sardaigne, Alpes et Pyrénées. Deux subséries, issues de la cristallisation d'un magma parental riche en alumine, sont reconnues d'après la proportion des phases hydratées. La subsérie peu hydratée présente des wehrlites, des troctolites, des anorthosites, des gabbronorites à olivine, des ferrogabbros et des diorites. Dans la subsérie hydratée, des gabbronorites et des leucogabbros riches en amphibole sont associés à des diorites et à des hornblendites. Les processus de contamination avec la croûte seraient plus importants dans cette subsérie.

L'évolution paragénétique des complexes rubanés permet de les distinguer des complexes basiques stratifiés situés à la base de la croûte continentale et associés au manteau supérieur : les premiers s'étant mis en place à plus faibles profondeurs et postérieurement aux seconds. La genèse des complexes stratifiés de base de croûte est directement liée à la structuration des zones internes de l'orogène varisque. La formation des complexes rubanés associés aux granitoïdes est post-tectonique et contemporaine des processus de distension et de surrection du bâti. La fusion des granitoides s'est déroulée dans une croûte continentale épaissie par collision et constituée de fragments de socle distincts. Sur une transversale Sardaigne, Corse, zone d'Ivrée et Alpes du Sud, l'hétérogénéité isotopique des granitoïdes a permis de distinguer trois protolites majeurs : le bloc corse (le plus jeune), le bloc sarde (le plus ancien) et le bloc des Alpes du Sud. Les fragments de socle sont séparés par des chevauchements reliés en profondeur à des zones de cisaillement qui impliquent le manteau infra-continental.

L'évolution des zones internes du secteur méditerranéen a permis de dégager l'existence d'une ceinture double dessinant l'arc alpin depuis la Corse jusqu'en Yougoslavie. La ceinture occidentale est caractérisée par la présence d'une suite de granitoïdes magnésio-potassiques précoces et par l'abondance des intrusions basiques associées aux granitoïdes. La ceinture orientale montre une zone de transition croûte-manteau avec des complexes basiques stratifiés. Les caractéristiques tectono-magmatiques mises en évidence au niveau de la double ceinture montrent des analogies avec celles se déroulant dans les marges continentales actives.

Postérieurement à la mise en place des granitoides, les zones internes de type Ivrée, limites de plaques majeures, sont restées des zones mobiles où s'effectuera l'ouverture de l'océan liguro-piémontais. Les zones crustales placées en avant ont été progressivement cratonisées.

REFERENCES :

OHNENSTETTER M. et ROSSI Ph. (1985) - Reconstitution d'une paléochambre magmatique exceptionnelle dans le complexe basique-ultrabasique du Tenda, Corse hercynienne. C.R. Acad. Sci., Sér. D, Paris, 300, 853-858.

OHNENSTETTER M. et ROSSI Ph. (1986) - Signification des complexes rubanés basiques-ultrabasiques dans l'évolution de la chaine varisque du Sud de l'Europe. Soumis à Soc. Geol. Fr.

ROSSI Ph. (1986) - Organisation et genèse d'un grand batholite calco-alcalin de la Corse. Thèse d'Etat, Toulouse - Document BRGM n° 107.

ROSSI Ph. et OHNENSTETTER M. - Caractéristiques pétrologiques des complexes basiques-ultrabasiques associés aux granitoides tardi-hercyniens, en préparation.

+ CRSCM (GIS BRGM/CNRS), 1A rue de la Férollerie, 45071 Orléans cedex 2

Sédimentologie, stratigraphie, géologie du Quaternaire et des formations superficielles

RS 1991

Présence en Champagne de craies sénoniennes riches en Foraminifères planctoniques : implications biostratigraphiques, paléoécologiques et paléogéographiques

Occurrence of senonian chalks rich in planktonic Foraminifera in the Champagne region (France): biostratigraphic, paleoecologic and paleogeographic implications

C. MONCIARDINI

Onze prélèvements ponctuels de craies champenoises ont été sélectionnés pour leur richesse en Foraminifères planctoniques et en fonction de l'éventail de leur position stratigraphique, allant du Turonien supérieur au Campanien supérieur.

Un inventaire qualitatif et semi-quantitatif de cette microfaune a été effectué et une biozonation esquissée (J.P. BELLIER*) parallèlement à celle basée sur les Foraminifères benthiques.

Concernant les paléoenvironnements, une pluralité d'arguments tend à montrer que la plate-forme sénonienne de Champagne appartient au domaine circalittoral distal.

La mer, plus ouverte, plus profonde et plus froide, a donné lieu à des dépôts crayeux marqués par un relatif confinement du fond.

Enfin, une reconstitution de cette aire à forte pénétration marine, intéressant tout le Nord du bassin de Paris, a été tentée.

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

BELLIER J.P., MONCIARDINI C. .- Présence en Champagne de craies sénoniennes riches en Foraminifères planctoniques. Implications biostratigraphiques, paléoécologiques et paléogéographiques .- Bull. A.G.B.P. à paraître.

* Université Pierre et Marie Curie, 4, place Jussieu - 75230 PARIS CEDEX 05

RS 1992

Les meulières et les argiles à meulières : leurs rapports avec les surfaces Néogène à Quaternaire ancien du bassin de Paris

Siliceous limestones and clays with siliceous limestones: their relation to Neogene and Early Quaternary surfaces in the Paris Basin

F. MENILLET

Des roches très variées ont été désignées sous le nom de "*meulières*":

- des accidents siliceux en milieu calcaire non marin, apparentés aux cherts, silex et silexites ;

- des silicifications en dalles au sommet de formations carbonatées (cf " *surfaces meuliérisées* " de CHOLLEY).

Dans ce travail, ces roches, dues à des phénomènes de silicification par épigénie de calcaires, banales et très répandues à travers le monde sont distinguées des meulières proprement dites à faciès caverneux, celluleux ou poreux qui forment les parties dures des argiles à meulières. Dans le bassin de Paris ont pris naissance dans le contexte d'une altération karstique de calcaires peu épais en disposition tabulaire. Le karst, peu profond, a largement piégé des argiles d'illuviation et des sables qui, avec des blocs et masses de calcaire silicifié, ont constitué les matériaux initiaux des argiles à meulières. Siège de transformations minéralogiques telles que la néoformation de kaolinite aux dépens d'illites et de smectites, de phénomènes de désilicifications et de néoformations siliceuses, affectant même des argiles d'illuvia-

tion, les argiles à meulières se sont plus ou moins organisées en profil. Les transformations sont importantes dans les horizons supérieurs de celui-ci, riches en kaolinite et en meulière celluleuse, plus réduites dans les horizons inférieurs à meulières compactes, où illites et smectites sont encore bien représentées, aux côtés de la kaolinite.

Au sud-ouest de Paris, en Hurepoix, l'Argile à meulières de Montmorency-Hurepoix a plus ou moins conservé la surface structurale du Calcaire d'Etampes, d'âge stampien supérieur, qui a été presque entièrement dissous. Les Sables de Lozère, qui se sont probablement déposés au Pliocène supérieur, sur cette surface, sont localement pris dans les néoformations siliceuses.

L'Argile à meulières de Brie s'est individualisée plus tardivement, à l'aube du Quaternaire, après le dégagement des formations calcaires et argileuses de l'Oligocène inférieur et de l'Eocène supérieur. Moins évolué que l'Argile à meulières de Montmorency-Hurepoix, elle jalonne cependant une surface qui a tronqué la série stratigraphique, à la faveur d'un relèvement structural de la bordure orientale du bassin de Paris.

Les argiles à meulières assurent donc le relais entre un karst superficiel subhorizontal et un profil d'accumulation siliceuse, qui conserve ou tronque la surface initiale, en fonction de l'évolution structurale du bassin.

REFERENCE

MENILLET F. (1985) - Les meulières et les argiles à meulières ; leurs rapports avec les surfaces néogène à quaternaire ancien du bassin de Paris. Géologie de la France, n° 2, pp. 213-226, (12 fig.) .

RS 1993

Corrélations intracrétacées entre l'Angleterre et le bassin de Paris : la limite Turonien-Sénonien

Intracretaceous correlations between England and the Paris basin: the Turonian-Senonian boundary

C. MONCIARDINI

Sur deux coupes du Sussex (Soreham et Lewes) levées et échantillonnées par R.N. MORTIMORE et B. POMEROL , une biozonation par les Foraminifères (C. MONCIARDINI) montre que la succession des marqueurs est identique à celle établie dans le bassin de Paris. Ce découpage biostratigraphique a pu être parallèlisé avec la répartition verticale des Echinides (*Micraster*) mais également avec plusieurs repères lithologiques bien caractérisés (hard-grounds, niveaux à silex tabulaires, ...).

Dans une deuxième phase, en cours, les coupes contemporaines levées et échantillonnées par B. POMEROL en plusieurs points du bassin de Paris (littoral picard, Sénonais) montrent d'ores et déjà des similitudes avec le Sussex au plan lithologique. Il reste à confirmer ces concordances par la biostratigraphie (Foraminifères et Echinides).

Il est donc en voie d'être prouvé que les pulsations sédimentaires affectant le passage Turonien-Sénonien ont donné lieu à des empreintes lithologiques corrélables et de large extension géographique.

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

POMEROL B., BAILEY H.W., MONCIARDINI C., MORTIMORE R.N. .- Lithostratigraphy and biostratigraphy of the white chalk of Southern England : the Turonian-Senonian boundary .- à paraître.

RS 1994

Etude palynologique (Spores et Pollens) du Toarcien supérieur à l'Oxfordien supérieur du Dorset (Angleterre)

Palynological study (Spores and Pollen) of the Late Toarcian to Late Oxfordian of Dorset (England)

D. FAUCONNIER

Cette étude, qui présente les résultats d'une analyse palynologique (spores et pollens) d'échantillons prélevés sur affleurements entre le Toarcien et l'Oxfordien supérieur, servira d'échelle de référence pour le Jurassique anglo-normand ; elle a l'avantage de présenter l'extension stratigraphique des pollens et spores du Bathonien inférieur à l'Oxfordien supérieur, calibrée par les Ammonites et les Dinoflagellés.

Les associations de pollens et spores sont généralement plus pauvres que celles trouvées lors d'une étude précédente réalisée sur des niveaux équivalents de Normandie : la distribution des microfossiles d'origine continentale est en effet en relation directe avec la répartition des sédiments et, au Jurassique, la région du Dorset était dans une localité géographique plus marine.

Des comparaisons entre la Normandie et le Dorset sont abordées successivement :

- Depuis l'Oxfordien moyen (zone à *Plicatilis* jusqu'à la base de l'Oxfordien inférieur (zone à *Mariae*).

- Du Callovien supérieur (zone à *Lamberti* et *Athleta*) au Callovien inférieur (zone à *Macrocephalus*), les comparaisons sont assez difficiles, d'une part parce que l'association palynologique de la région du Dorset est souvent pauvre comparée à celle trouvée dans la région de Normandie, et d'autre part parce que les zones à *Jason* et *Calloviense* n'ont pas été étudiées dans le Dorset.

- Le Bathonien est également difficile à comparer à cause de l'échantillonnage qui est différent depuis la zone à *Discus* du Bathonien supérieur jusqu'à la zone à *Zig-Zag* du Bathonien inférieur. Il est intéressant de noter par ailleurs que la succession des associations trouvées dans ces deux études montre que, pour une région donnée, la répartition des pollens et spores du Jurassique peut être utilisée depuis un milieu continental jusqu'à un milieu littoral.

RS 1995

Problèmes taxonomiques liés à la révision de l'espèce *"Gonyaulax" cornigera valensi* 1953, kyste fossile de Dinoflagellé

Taxonomic problems concerning the revision of *"Gonyaulax" cornigera valensi* 1953, a fossil Dinoflagellate cyst

D. FAUCONNIER
R.E. JAN DU CHENE*
J.P.G. FENTON**

Une étude récente du groupe de travail "Dinoflagellés" (publication en cours, Mémoires SNEA(P)) concernant la détermination des kystes de Dinoflagellés fossiles (Le Complexe Gonyaulacysta) nous a conduit à revoir des genres ou espèces possédant un ou plusieurs caractères morphologiques communs importants et aisément identifiables.

Ce travail est donc une révision du matériel type de *"Gonyaulax" cornigera* VALENSI, 1953, qui montre que l'archéopyle de ce kyste fossile de Dinoflagellé ne peut pas être précingulaire P (3") comme le propose SARJEANT (1969) en choisissant cette forme comme espèce type du genre *Hystrichogonyaulax*. La révision de l'holotype et des paratypes de *"Gonyaulax" cornigera* et la découverte de nombreux spécimens attribuables sans ambiguïté à la même espèce démontrent que ce kyste possède un archéopyle épitractal. Il doit être attribué au genre *Ctenidodinium* DEFLANDRE 1938, émendé BENSON (sous presse). A la suite du transfert de *"G." cornigera*, espèce type du genre *Hystrichogonyaulax* SARJEANT 1969, ce dernier genre devient illégitime. L'émendation du genre *Rhynchodiniopsis* DEFLANDRE, 1935, rend possible les nouvelles combinaisons suivantes : *R. fimbriata* (DUXBURY, 1980), *R. saepita* (ASHRAF, 1979), *R. serrata* (COOKSON et EISENACK, 1958), *R.? italica* (CORRADINI, 1973), *R.? nealei* (SARJEANT, 1962) et *R.? regalis* (GOCHT, 1970).

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

Revue de Micropal., vol. 28, n° 2, 1985.

* ESSO-EPRE, BP 150, Cours Victor Hugo - 33321 BEGLES, France.
** ROBERTSON RESEARCH INTERNATIONAL Ltd., Ty'n-y-Coed, Llanrhos, Llandudno, GWYNEDD, North Wales, U.K.

RS 1996

Evolution d'un réservoir détritique : porogenèses et poronécrose. Exemple des grès inférieurs du Trias ardéchois

Clastic reservoir evolution: porogenesis and poronecrosis. Application to the Triasic Lower sandstone of Ardeche (France)

D. GIOT
C. VINCHON
et le groupe ATP CNRS
Diagenèse des réservoirs

ATP CNRS "*Diagenèse des réservoirs gréseux*"

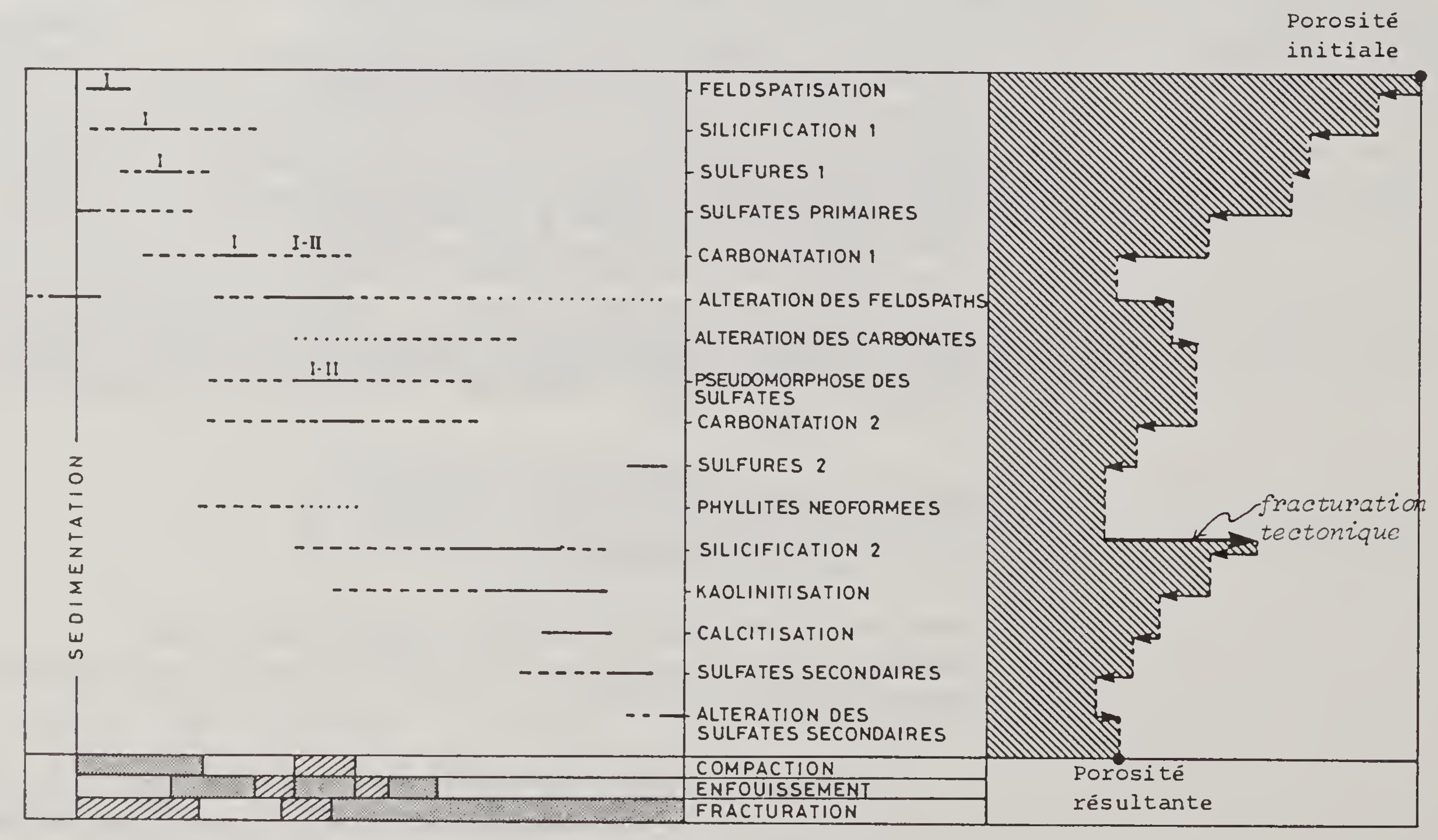
Les travaux de recherche fondamentale sur le réservoir gréseux du Trias inférieur (Privas, Ardèche), réalisés par l'équipe ATP "Diagenèse des réservoirs gréseux" (directeur scientifique : J. BOULEGUE), s'intègrent dans une suite d'études géologiques à caractère régional ou à finalités minières, qu'elle utilise comme base.

Le projet vise à établir une modélisation paléo-hydrologique capable de rendre compte de l'évolution du principal corps poreux présent dans la série sédimentaire en bordure sud-est du bassin téthysien. Une suite des travaux de l'ATP est prévisible dans le cadre Géologie profonde de la France - thème 11 "Subsidence et diagenèse : le talus ardéchois".

Parallèlement à une reconstitution de la géométrie du corps détritique (P. CULA, thèse de 3ème cycle, Université de Dijon), cette étude s'attache à décrire l'évolution du système gréseux par l'identification des événements engendrant les colmatages et les dissolutions en les quantifiant et en les restituant selon l'ordre chronologique de leur développement. Différents phénomènes interviennent, engendrant des modifications de la porosité, soit en la diminuant (néogenèses minérales), soit en l'augmentant (dissolution, fissuration).

Les néogenèses minérales les plus importantes en volume sont représentées par plusieurs venues successives de silice et carbonates. La silicification est polyphasée, formant une auréole de croissance sur les supports quartzeux détritiques, atteignant ou non l'automorphie. Une néogenèse feldspathique est également observée sur le pourtour des grains détritiques. Les carbonates reflètent également une multiplicité de phases ; ils se situent essentiellement en position matricielle, d'abord sous forme de microsparite, puis évoluant jusqu'à des sparites rhomboèdriques.

La transformation de sulfates (précipitation matricielle précoce et nodule) en dolomie baroque, ainsi que la recristallisation de la matrice argileuse détritique induisent peu ou pas de transformation du corps poreux.



SCHEMA D'EVOLUTION DU SYSTEME POREUX AU COURS DE LA DIAGENESE

Les phases de sulfures et de sulfates tardifs cristallisent également dans la porosité matricielle ; elles ne sont cependant observées que ponctuellement.

Les phénomènes de dissolution se marquent essentiellement sur les feldspaths où ils sont la conséquence d'une altération plus ou moins accentuée ; l'auréole de néogenèse développée au préalable reste toutefois presque toujours intacte. La dissolution affecte également les carbonates et les sulfates secondaires, et peut être localement assez importante.

La fissuration intervient à plusieurs reprises : pendant la compaction, et surtout tardivement, augmentant la porosité et induisant une forte perméabilité temporaire : ces drains sont ensuite partiellement colmatés par des phases tardives de kaolinite et silice.

A partir de ces données, une chronologie relative de la succession des phases diagénétiques est proposée (fig. ci-dessous).

Au stade actuel des travaux, seules quelques manifestations diagénétiques peuvent être rapportées à des événements géologiques particuliers. Pour atteindre cet objectif, la suite des travaux prévoit de parfaire les estimations quantitatives relatives à l'évolution de la porosité, de préciser par voie chimique la caractérisation des paléofluides, de recherches des éléments de datation et d'origine par voie isotopique et d'intégrer l'ensemble des données dans un modèle hydrologique.

RS 1997

La cathodo-luminescence, une technique d'appui à la pétrographie : différenciation des étapes de diagenèse dans les aquifères calcaires et les dolomies encaissant des minéralisations

Cathodoluminescence, a useful tool for petrography: differenciation of diagenesis phases in the limestone aquifers and the dolomitic formation containing mineralization

D. GIOT

Les roches sédimentaires à composition minéralogique homogène ou peu variée, telles que les calcaires, dolomites, quartzites, ..., ont généralement enregistré une histoire diagénétique polyphasée, la pétrographie classique est inopérante pour distinguer les générations successives d'une même espèce minérale. Les techniques de laboratoire (MEB, microsonde, chimie isotopique, ...)qui permettent de résoudre partiellement ce problème sont souvent onéreuses et longues à mettre en oeuvre lorsqu'elles sont utilisées de façon routinière. Il a donc été fait appel à une technique dérivée de la pétrographie par le matériel employé, mais faisant appel à un système d'excitation électronique, pour obtenir l'effet cathodoluminescent.

L'échantillon analysé a l'avantage de se présenter sous forme d'une lame mince classique non couverte, le polissage n'est pas indispensable (il améliore toutefois la qualité des images obtenues), et l'examen en C.L., qui ne requiert que quelques minutes (15 incluant la prise de photographies), se réalise au cours de l'examen pétrographique habituel.

Le phénomène peut être sommairement décrit comme l'émission de lumière par le cristal soumis à un bombardement d'électrons obtenu par une cathode froide dans une chambre d'observation permettant de réaliser un vide relatif.

Cette technique d'usage courant dans les pays anglo-saxons n'a été que très peu utilisée en France. Les auteurs ne s'accordent pas encore sur la signification physique de l'effet obtenu n'ayant pu dissocier le rôle respectif des facteurs tels que des déformations, discontinuités ou lacunes du réseau cristallin, la nature et la densité d'inclusions de toute nature, ..., certains d'entre eux accordant toutefois une importance privilégiée aux variations chimiques correspondant à des inclusions en trace (surtout Fe et Mn pour les carbonates). Selon cette dernière hypothèse, le cristal, lors de sa croissance, mémoriserait en partie l'état du fluide nourricier, et un dispositif zoné serait le reflet de la variation du fluide (figure 1).

Si l'on ne tient compte que des seules morphologies (couleur de luminescence, intensité de la couleur, géométrie des zones), il devient possible de personaliser et de différencier les diverses générations cristallines développées dans un même échantillon et par approches successives dans les formations géologiques.

Les travaux réalisés sur le réservoir géothermique du Dogger (1), en particulier sur le matériel provenant du forage d'Aulnay-sous-Bois (tabl. 1),ont permis de tester la méthode et ont abouti à la différenciation d'au moins deux étapes majeures de la diagenèse de ce réservoir. Une étape autochtone englobe

Tabl. 1 - Etapes de cristallisation dans le réservoir Dogger

	Teintes C.L. des systèmes de zones	
CM1 calcimicrite initiale et remplissage de bird's eyes	mauve-orange faible	Cycle 1
CMSF aragonite fibreuse (non conservee)	-	Cycle 1
DISSOLUTION D 1		Cycle 2
CM2 calcimicrite recristallisée sous l'effet de D 1	jaune-orange faible à moyen	Cycle 2
CMS1, 2 et 3 (péngrain, intraloges, intra D1) — calcimicrosparite — a1	bleu sombre	Cycle 2
CMS1, 2 et 3 — a2 ; CS (calcisparite) — a2	marron jaune à marron mauve	Cycle 2
	discontinuité de croissance cristalline	Cycle 2
CMS b1 ; CS b1	jaune-orange	Cycle 2
CMS b2 ; CS b2	marron clair - jaune	Cycle 2
CMS b3 ; CS b3	jaune-orange	Cycle 2
CS c (≈9)	marron	Cycle 2
CS d	jaune-orange	Cycle 2
DISSOLUTION MAJEURE D 2		Cycle 3
DS δ dolosparite — δ	marron noir à marron mauve	Cycle 3
— discontinuité avec corrosion		Cycle 3
DS ε dolosparite — ε1 (oolithique)	mauve faible	Cycle 3
ε2 (oolithique, Comblanchier)	mauve sombre	Cycle 3
ε3 (oolithique, Comblanchier)	rouge-orange fort	Cycle 3
ε4 (Comblanchier)	mauve sombre	Cycle 3
ε5 (Comblanchier)	rouge-orange	Cycle 3
ε6 (Comblanchier)	mauve sombre	Cycle 3
ε7 (Comblanchier)	rouge-orange	Cycle 3
ε8 (Comblanchier)	mauve sombre	Cycle 3
DISSOLUTION - FRACTURATION D 3		Cycle 4
Célestite (fracturation)	bleu	Cycle 4
Calcite (cavité de dissolution et pores résiduels)	noir	Cycle 4

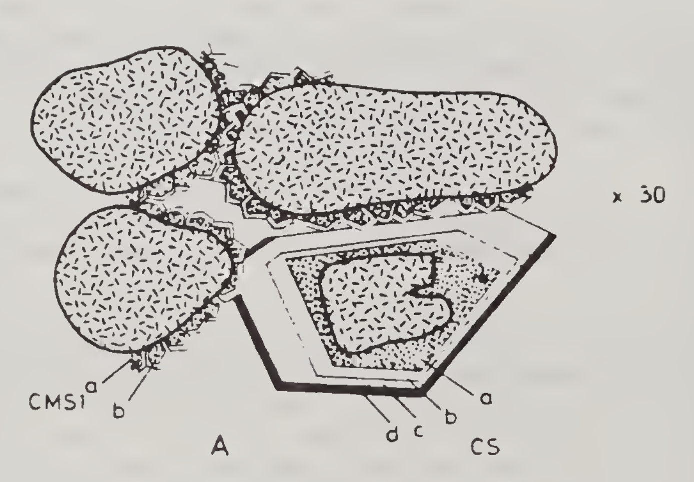


Figure 1

les cristallisations développées à partir de fluides incorporés au cours de la sédimentation, lesquels, évolués sans apport extérieur, donnent naissance uniquement à une succession de calcites s'intégrant dans une même lignée évolutive (CM1 - CM2 - CMS1 - CS). Une étape allochtone faisant intervenir un fluide modifié par des apports extérieurs provoque ensuite, après un épisode de forte dissolution un colmatage par deux générations successives de dolomite.

Ce cas d'étude reste exemplaire par sa relative simplicité, il n'en est pas de même d'études réalisées sur des séries géologiques qui ont enregistré une histoire complexe (très forte subsidence, tectogenèse, migrations hydrothermales, etc.). Ces études ont fourni cependant des résultats très satisfaisants. Ainsi, dans les carbonates cambriens de Montagne Noire (2), a-t-on pu dissocier

Tabl. 2 - Caractère cathodo-luminescent des différentes formes de carbonates diagénétiques dans la formation de Tête Rousse, Cambrien de la Montagne Noire

Phase 1 diagenèse précoce	DM1 - CMS1 - CS1	a/b mélangé ou zoné a - b
	CM1 toujours affecté par la phase 3 CMS3 - CS3 inhibée	
Phase 2 diagenèse d'enfouissement	DS2α	b - a - (b - a) x fois - b
	DS2β	(b - c) 1 à 5 fois - b - a - b
	DS2γ	b - a - b - a - b - c
	DS2δ	a - b - c - a - (b - c) x fois
phase 3 tectogenèse hercynienne	DS3α, DS3β, DS3γ, DS3δ, DS3ε	inhibé noir 0
	CMS3 - CS3, CS3	inhibé noir 0
	CS3	C
Phase 4 distension triasico-liasique	DS4α	b non zoné
	DS4β	a non zoné → a - b → a - b - c
	DS4γ	b - a - b - c - b - a ou a- b - c - (b - a) x fois
	DS4δ	inhibé noir 0
Phase 5 actions météoriques	CS5α	et CS 5 C non zoné
	CS5β	et CS 4 - 5 b - o - b - o - b / c - b - o - c - b - c - b

Légende des abréviations : o = inhibé, a = brun sombre, b = orangé, c = jaune vif / discontinuité de croissance, D = dolomite, C = calcite, M = micrite, M.S. = microsparite, S = sparite

par simple analyse pétrologique assistée de cathodoluminescence (tableau 2) ce qui devait être attribué à la syngenèse et diagenèse précoce cambrienne, à la diagenèse d'enfouissement, aux transformations liées à la tectogenèse hercynienne, à l'hydrothermalisme périgranitisation, à l'hydrothermalisme lié à la tectonique distensive triasico-liasique, aux calcitisations météoriques, etc.

REFERENCES

(1) C. ROBELIN, D. GIOT (1985) .- Apports de la cathodo-luminescence à la connaissance de la diagenèse des horizons réservoirs du Dogger du site géothermique d'Aulnay-sous-Bois .- Rapport BRGM 85 SGN 207 GEO-IRG ; publication SGF en cours.

(2) J.L. LESCUYER, D. GIOT (1986) .- Les minéralisations Pb-Zn de Montagne Noire et leurs relations avec leur encaissant cambrien carbonaté .- Rapport BRGM 86 SGN 166 GEO.

RS 1998

Etude expérimentale de la porosité et de la perméabilité des grès inférieurs du Trias du bassin de Privas, Ardèche

Porosity and permeability experimental study of the Lower Triasic sandstones in the Privas basin, Ardèche

ATP " *Etude de la diagenèse des grès inférieurs de la région de Privas*"

L'étude de l'évolution des réservoirs gréseux au cours de la diagenèse revêt une grande importance tant dans les domaines des ressources énergétiques et minérales que dans celui des matériaux.

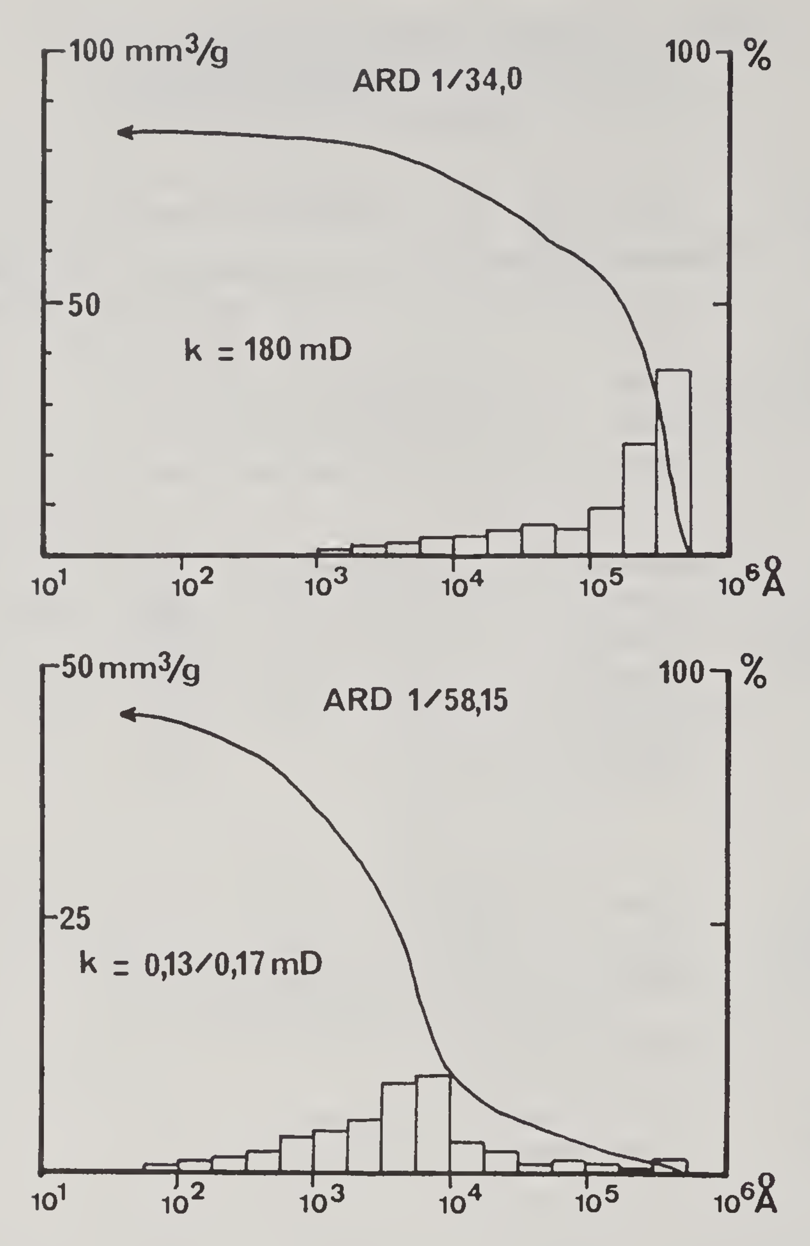


Fig. 1 : Distribution de la taille des pores exprimée en fonction de la porosité totale (courbe cumulative en mm^3/g et en % de la porosité totale (histogramme).

R. FABRIOL
J.-F. SUREAU
D. DEFOIX
J.-L. BOULMIER

L'appréciation des processus de transformation qui impliquent des transferts de fluide et de matière, responsables des réactions de dissolution-précipitation dans le réservoir nécessite une bonne connaissance de ses paramètres : porosité-perméabilité.

Ce travail de mesure de la porosité et de la perméabilité constitue une première approche des propriétés physiques du réservoir gréseux du Trias inférieur de la bordure ardéchoise du Massif Central. Il s'inscrit dans le cadre de l'ATP du CNRS "Etude de la diagenèse des grès inférieurs de la région de Privas".

Les mesures de perméabilité sont réalisées par percolation de fluide au travers de carottes (Ø = 4 cm, H : 5cm) provenant d'échantillons des forages ARD 1 et ARD 16. Pour les carottes les plus perméables (k > 50 mD) les mesures sont faites avec un perméamètre, pour les moins perméables, avec un percolateur prototype. Les porosités sont mesurées avec un porosimètre à mercure sur des fragments de grès du même niveau.

Les premiers résultats obtenus (Figure 1) sur quelques échantillons de grès du bassin de Privas montrent qu'il existe deux groupes aux comportements différents :

- les grès sans argile dont la perméabilité est stable dans le temps quels que soient les débits ou les pressions de percolation de fluide,
- les grès avec matrice argileuse dont la perméabilité diminue irréversiblement en fonction du temps à débit fixé. Ce phénomène s'explique par le déplacement, à partir d'un seuil de vitesse d'écoulement, de petites particules d'argiles contenues dans les pores, suivi d'un blocage dans les pores les plus étroits.

La perméabilité entre les différents niveaux de grès d'un même forage peut varier d'un facteur 1000 comme le montrent les résultats à - 34 m et - 58 m du forage ARD 1. La circulation des fluides naturels étant liée à la perméabilité, les conséquences sur le transport en solution et les interactions entre le fluide et les grès seront à prendre en considération dans l'étude de l'évolution diagénétique du réservoir gréseux du bassin triasique de Privas.

REFERENCES :

FABRIOL R., SUREAU J.F., DEFOIX D., BOULMIER J.L. - Etude expérimentale de la porosité et de la perméabilité des grès inférieurs du Trias du bassin de Privas, Ardèche. Sondage ARD 1 et ARD 16. Rapport BRGM : 86 DAM 002 GMX.

GIOT D., VINCHON C. - Etude pétrographique de la diagenèse des grès inférieurs du Trias de la région de Privas (Ardèche). Première phase de l'ATP CNRS "Diagenèse des réservoirs gréseux". Rapport BRGM : 86 SGN 094 GEO.

RS 1999

Caractères magmatiques et âge du volcanisme dévonien de Chizeuil (Saône-et-Loire)

Magmatic characteristics and age of the devonian volcanism of Chizeuil area (Saone-et-Loire)

J.Y. CALVEZ
J. DELFOUR
B. LEMIERE
A. COCHERIE*

Dans la terminaison méridionale du faisceau du Morvan (N.E. Massif central), les dépôts tuffacés, équivalents latéraux du volcanisme basique et intermédiaire du massif de Chizeuil, ont pu être datés du Famennien moyen à supérieur (Delfour, Gigot, 1985). Afin de mieux cerner le contexte structural de mise en place de ce volcanisme dévonien supérieur, les caractères géochimiques ambigüs des volcanites de Chizeuil (B. Lemière, 1983 ; J. Delfour et al, 1984) ont été réexaminés à l'aide de nouvelles données analytiques.

Le massif de Chizeuil est constitué par un ensemble de laves, extrusions et intrusions subvolcaniques comagmatiques et appartenant au même cycle d'activité sous-marine. A une large extrusion de laves soda-rhyolitiques dans laquelle sont encaissés les amas pyriteux de Chizeuil et leurs zones d'altération, succèdent des coulées de basalte et d'andésite recoupées de stocks de soda-dacite. Les projections volcaniques et les produits de démantèlement de ce massif sont à l'origine de puissants niveaux de tufs remaniés intercalés dans la sédimentation silteuse famennienne.

L'étude géochimique de ce volcanisme a montré son appartenance à une seule lignée subalcaline à dominance calco-alcaline et à légères affinités tholéiitiques. Cette interprétation, basée sur les éléments majeurs et certaines traces (Sr, Zr, Y, Nb, V, Cr) met en évidence deux phases de fractionnement successives dans cette lignée :

- des basaltes aux andésites (clinopyroxène-plagioclase-oxydes de Fe-Ti) et
- de ces andésites aux rhyodacites (plagioclase-amphibole-zircon).

On peut donc rejeter l'hypothèse d'un volcanisme bimodal, où l'abondance des produits acides serait due à une anatexie crustale. Le site géotectonique envisagé est en marge d'une zone de distension intracontinentale.

De nouveaux résultats analytiques par activation neutronique (Ta, Th, Hf, Terres rares) complètent cette interprétation :

- des corrélations linéaires entre éléments caractéristiques des suites de fractionnement, s'observent à l'intérieur de chaque phase ;
- les phases sont séparées par des accroissements de Th ;
- certains basaltes montrent des rapports Th/Ta proches de ceux des MORB et des tholéiites de la Brévenne. Ces phénomènes peuvent être attribués à une contamination de magmas tholéiitiques au stade précoce et au cours de leur fractionnement, par fusion du socle métagranitique encaissant, avec obtention d'une signature apparente calco-alcaline, les fractionnements étant ceux mis en évidence dans le référentiel Ti-Zr-Y-Nb. Cette conclusion trouve confirmation dans la présence de nombreux zircons à coeurs hérités dans les laves acides.

Un échantillon de soda-rhyodacite, prélevé à 5 km au S-SW de l'ancienne mine de Chizeuil a fait l'objet d'une datation U-Pb sur zircons (5 fractions analysées). La présence de zircons à coeurs hérités complique singulièrement l'interprétation des données. En effet, la droite Discordia passant par les points analytiques indique un intercept supérieur de 351 ± 6 Ma, mais l'intercept inférieur est négatif. Si l'on fait passer la droite de régression par zéro on obtient un intercept supérieur de 388 ± 6 Ma. L'âge de mise en place est compris entre ces deux limites (350-390 Ma). L'examen des résultats analytiques nous conduit cependant à considérer que la meilleure estimation est obtenue par la moyenne des âges $^{207}Pb/^{206}Pb$ des trois fractions les plus concordantes, qui contiennent peu ou pas de zircons à coeurs hérités ; l'âge ainsi calculé est de 378 ± 2 Ma.

L'indétermination sur cet âge pose un problème stratigraphique. Un âge de 350 Ma serait en accord avec les données paléontologiques attribuant aux équivalents latéraux des épanchements basaltiques du massif de Chizeuil un âge famennien moyen à supérieur. Un âge de 380-390 Ma (Dévonien inférieur à moyen) impliquerait un laps de temps important entre l'extrusion des laves acides et la reprise du volcanisme basique. C'est très probablement durant cette accalmie qu'a fonctionné le système hydrothermal et exhalatif qui est à l'origine des minéralisations sulfurées de Chizeuil, système qui a pu emprunter les chenaux et fractures crées lors de l'extrusion des laves acides et induit par la présence de chambres magmatiques à faible profondeur. Sur un plan stratigraphique un âge Dévonien inférieur à moyen (380 Ma) expliquerait la présence dans divers niveaux du Dévonien supérieur, de Conodontes hérités de dépôts du Dévonien inférieur à moyen que les conditions actuelles d'affleurement ne permettent pas d'observer.

REFERENCES :

DELFOUR J., ISNARD P., LECUYER E., LEMIERE B., LHOTE F., MOINE B., PIBOULE M., PICOT P., PLOQUIN A., TEGYEY M. (1984) : Etude du gîte de pyrite de Chizeuil (Saône et Loire) et de son environnement volcano-sédimentaire dévonien et dinantien. Document BRGM n° 73 ; 37 p., 20 fig., 2 tab., 5 ann.

DELFOUR J., GIGOT C. (1984) : Données stratigraphiques apportées par l'étude de Conodontes du Dévono-dinantien de la région de Bourbon-Lancy (Saône et Loire). Rapp. BRGM 84 SGN 358 GEO.

LEMIERE B. (1983) : L'amas sulfuré de Chizeuil : étude géochimique de son environnement volcanosédimentaire dévonien supérieur et de son auréole d'altération hydrothermale. Thèse Doct. Ing. Lyon. Doc. BRGM n° 54, 156 p.

+ GIS BRGM/CNRS, 1A rue de la Ferollerie, 45071 Orléans cedex 2

Bases et banques de données

RS 2000

GEOBANQUE, service d'informations sur les données d'observations du sous-sol français

GEOBANQUE, an information service on french subsurface data

J.-P. LEPRETRE

Au cours de l'année 1985, il a été décidé d'offrir aux utilisateurs de la banque de données du sous-sol, la possibilité d'interroger directement à l'aide d'un terminal classique Minitel. Pour ce faire, certaines informations actuellement sur les ordinateurs orléanais ont été choisies et installées sur le serveur national Télésystèmes-Questel.

Le fichier Géobanque est un nouveau service documentaire qui rassemble et permet de localiser les points d'observation du sous-sol français. Ce service est proposé par le B.R.G.M. dans le cadre de sa mission de service public en ce qui concerne l'application du Code minier, à ce jour une maquette a été expérimentée et les résultats sont très probants.

Géobanque est un sous ensemble de la banque du sous-sol français. Géobanque contient les données générales caractérisant chaque point d'observation, c'est en somme la fiche d'identité de chaque ouvrage (sondage, forage, carrière, gîte minéral, puits...).
Chaque ouvrage signalé dans Géobanque fait l'objet d'un dossier exhaustif comprenant toutes les informations techniques, il est conservé à la fois au B.R.G.M. Orléans et dans l'un des 22 services géologiques régionaux selon la région commune.

L'information contenue dans Géobanque peut être sélectionnée suivant plusieurs critères : nom de commune, département, profondeur atteinte, type de l'ouvrage (sondage, forage...), objet de cet ouvrage (recherche d'eau, de minerai...), coordonnées géographiques, ces critères pouvant être combinés.

Par ailleurs l'accès aux dossiers originaux microfilmés peut se faire de diverses manières :

- par commande "en ligne" des dossiers sélectionnés lors d'une interrogation (les documents originaux non confidentiels de ces dossiers seront photocopiés et envoyés par la poste) ;

- par consultation directe dans l'un des 22 services géologiques régionaux pour la région considérée soit à la Maison de la Géologie, soit au centre d'Orléans pour toute la France.

Ce service sera mis en place en avril 1986 pour la région Ile-de-France, il sera ensuite étendu progressivement à l'ensemble du territoire national.

```
29/46 - (C) BRGM
Numero      : 00034X0101F4
Departement: 59; NORD
Commune     : LEFFRINCKOUCKE
Adresse     : USINE DES DUNES
Coordonnees: X=609.09 KM; Y=373.20 KM; ZL=1
Altitude    : 2.50 M
Profondeur  : 30.00 M
Nature      : FORAGE
Objet       : EXPLOITATION EAU
Utilisation: EAU INDUSTRIELLE
Documents   : STAT PRELEV; PRODUCTIVITE; PRODUCTION; POMPAGE
              ESSAI; PLAN SITUATION; ANALYSE PHYSIQUE EAU;
              DOCUMENTATION GENERALE; DECLARATION CODE MINIER
              COUPE TECHNIQUE; COUPE GEOLOGIQUE;
              CORRESPONDANCE; ANALYSE CHIMIQUE EAU;
              AUTORISATION
Date        : 1983-00-00
```

Exemple de sortie "Géobanque"

RS 2001

PROPHETE : une banque de données de ressources en eau et microcentrales à l'échelle nationale

PROPHETE: a national data base for water resources and minihydroelectric plants

C. FILIPPI
J. SCHWARTZ
D. THIERY

Une banque de données dynamique d'évaluation de sites hydrauliques susceptibles d'être équipés d'une microcentrale hydroélectrique a été réalisée par le B.R.G.M. pour l'Agence Française pour la Maîtrise de l'Energie. Cette banque de données, appelée PROPHETE (PROduction Potentielle Hydro-Electrique sur tout le TErritoire), permet à un utilisateur non spécialiste d'estimer la production hydroélectrique potentielle d'un site français en fonction des caractéristiques de la chute et de l'équipement prévu.

Pour chaque site à équiper (généralement non jaugé), deux méthodes d'évaluation des débits sont possibles :

. une comparaison avec un cours d'eau voisin en mémoire dans la banque en fonction de la surface de son bassin versant,

. ou bien sur quelques départements étudiés plus en détail, par le calcul automatique des débits à partir des pluies sur le bassin à l'aide d'un modèle hydrologique global affecté de paramètres globaux prédéterminés.

Après estimation d'une séquence de débits mensuels par une de ces deux méthodes, la banque permet à l'utilisateur de simuler automatiquement une microcentrale en fonction de la hauteur de chute relevée (éventuellement variable avec le débit) et des caractéristiques de turbines (proposées par l'ordinateur et qu'il peut modifier). Elle permet ainsi de calculer, avec leur variabilité selon les années, productions mensuelles et revenus financiers en fonction des prix actuels de vente au réseau EDF, prix modifiables au besoin par l'utilisateur.

La banque PROPHETE qui est extrêmement souple, peut être utilisée à différents niveaux : pour faire une première évaluation de faisabilité, puis le cas échéant, pour faire les calculs précis de rentabilité en fonction d'un équipement choisi et des tarifications réelles les plus récentes.

Elle permet de réaliser des évaluations de ressources de cours d'eau (débits mensuels) et des avant-projets de microcentrales.

REFERENCE :

FILIPPI C., SCHWARTZ J., THIERY D. - Banque de données PROPHETE - Rapport BRGM 86 SGN 020 EAU - Août 1985

MATIERES PREMIERES MINERALES

Sulfures polymétalliques. Hydrothermalisme sous-marin

RS 2002

Les sédiments métallifères des fossés du nord de la Mer rouge : résultats préliminaires de la campagne GEOMEROU (04/1985)

Metalliferous sediments of the northern Red Sea deeps: preliminary results of the GEOMEROU cruise (04/1985)

Y. THISSE
P. GUENNOC

Cette étude a bénéficié de l'appui financier du P.N.E.H.O. (Programme National d'Etude de l'Hydrothermalisme Océanique).

La campagne GEOMEROU, mise en oeuvre par le B.R.G.M. (chef de mission : P. GUENNOC) à bord du navire océanographique LE NOROIT, s'est déroulée du 3 au 20 avril 1985. Elle avait pour but l'étude du contexte particulier de l'ouverture récente et de l'hydrothermalisme associé, dans le tiers septentrional de la mer Rouge. Dans cette région, il n'y a pas de socle basaltique affleurant de façon continue et les caractères morphologiques et géophysiques indiquent que la mise en place de croûte océanique s'effectue en des "points localisés" au sein d'une croûte considérée comme de nature intermédiaire. Deux de ces "points" ont fait l'objet de prélèvements au cours de cette mission :

- la dépression Al Wajh (ou Mabahiss) à 25°20'N, comprend une fosse profonde (- 2 180 m), sans saumure, en forme de trapèze isocèle, accolée à un appareil volcanique sub-circulaire, culminant à - 900 m et portant une petite dépression à son sommet. Les sédiments carottés (jusqu'à 7 m de récupération) dans les différents secteurs sont constitués, pour l'essentiel, par une importante unité biodétritique de couleur beige (carbonates prédominants : calcite, dolomite, aragonite, kutnahorite : $Ca(Mn, Mg)(CO_3)_2$) ou gris verdâtre (phases argileuses principalement : smectite, kaolinite, illite, interstratifiés) entrecoupée de petits niveaux finement lités de couleur brun-ocre ou verte constitués de goethite ou de montmorillonite bien cristallisées. Les faibles teneurs en métaux (Zn, Ni, Co, Cu, Pb, ...) et en terres rares, ainsi que l'allure du spectre de ces dernières (enrichissement en T.R. lourdes et légère anomalie négative en cérium) confirment le caractère hydrothermal de ces passées. Un dragage réalisé sur le sommet du mont volcanique a permis de ramener, outre de nombreux fragments de basalte, des blocs de sédiments plus ou moins indurés constitués soit de montmorillonite bien cristallisée, soit de carbonates recouverts de minces couches pelliculaires d'oxy-hydroxydes de fer et de manganèse.

- la fosse Jean Charcot (Shaban), située à l'axe vers 26°13'N, est constituée de quatre bassins remplis de saumures denses (de salinité proche de la saturation), froides (25°C, soit 2 à 3°C de plus que les eaux environnantes) et épaisses d'environ 200 m. Leur composition chimique est très voisine de celle de l'eau de mer normale, c'est-à-dire par rapport aux saumures de la fosse Atlantis II, pauvres en métaux et relativement riches en magnésium et ions sulfates. La demi-douzaine de carottages réalisés dans les différents bassins mettent en évidence plusieurs niveaux hydrothermaux finement lités (montmorillonites ferrifères et oxy-hydroxydes de fer) à l'intérieur d'une unité biodétritique carbonatée. Certains niveaux présentent un net enrichissement en métaux (Zn variant de 3 000 à 6 000 ppm), ce qui est comparable aux teneurs rencontrées dans la plupart des autres fosses, excepté Atlantis II.

Si ces niveaux minéralisés, de par leurs caractéristiques minéralogiques et géochimiques de leurs constituants, sont semblables à nombre de dépôts hydrothermaux sous-marins (récents ou anciens) découverts dans des contextes géodynamiques variés, ils n'en demeurent pas moins fort différents des dépôts sulfurés de la fosse Atlantis II ou des dorsales Pacifique et Atlantique. Les explications jusqu'ici avancées viennent d'être partiellement remises en cause par la découverte de cheminées hydrothermales sulfurées dans une fosse du nord de la mer Rouge (fosse Kebrit - mission ouest-allemande 1984) ; mais les plongées de la soucoupe française Cyana (1986), puis les forages profonds du programme ODP (1987) devraient permettre de faire de nouvelles et fort intéressantes découvertes et, par voie de conséquence, modifier profondément les modèles jusqu'ici proposés.

REFERENCES :

MAURY R.C., BOUGAULT H., COUTELLE A., GUENNOC P., JORON J.L. et PAUTOT G. - Présence de ferrobasalte tholéiitique dans la fosse Jean Charcot (26°15'N, 35°22'E) : signification dans le contexte géodynamique de la mer Rouge. C.R. Acad. Sciences Paris, 1985, T. 300, p. 811-816.

PAUTOT G., GUENNOC P., COUTELLE A. et LYBERIS N. - La dépression axiale du segment nord mer Rouge (de 25°N à 28°N) : nouvelles données géologiques et géophysiques obtenues au cours de la campagne Transmerou 83. Bull. Soc. Géol. France, 1986, (8), T. II, n° 3, p. 381-399.

PAUTOT G., COUTELLE A. et GUENNOC P. - Géologie des fosses Jean Charcot (Shaban) et Mabahiss, segment nord de la mer Rouge entre 25° et 28°N. 11ème R.S.T., Clermont-Ferrand, 1986.

PUCHELT H. et LASCHEK D. - Marine Erzvorkommen im Roten Meer. Fridenciana, Zeitschrift der Universität Karlsruhe, 1984, Heft 34, p. 3-18.

RS 2003

Les métaux précieux (Au-Ag) dans les sédiments de la Mer rouge

Precious-metal (Au-Ag) concentrations in Red Sea metalliferous sediments

E. OUDIN

Les métaux précieux (Ag, Au) ont été dosés par absorption atomique dans les sédiments hydrothermaux du bassin SW de la fosse Atlantis II en Mer Rouge (Oudin, sous-presse). Les échantillons contiennent en moyenne 6,5 % de zinc, 1 % de cuivre, 1000 ppm de plomb et 10,6 % de soufre et sont représentatifs des zones enrichies en sulfures. L'argent a une teneur variant de 10 à 3140 ppm, en moyenne 180 ppm (100 échantillons analysés).

Il existe une corrélation entre les teneurs en Ag, Zn, Pb et Cd (figure 1 a, b). Les teneurs en or varient de quelques ppb à 4600 ppb (en moyenne 2 ppm). L'or est corrélé avec le soufre, le zinc, le cuivre, le plomb (R ~ 0,7) et également avec l'arsenic et le cadmium. Les figures 1 c et 1 d mettent en évidence des échantillons où ces corrélations ne sont pas observées. Ces échantillons appartiennent généralement à une zone où les sulfures ont été déposés à haute température par des fluides en ébullition (Oudin et al., 1984) à la base de l'une des carottes étudiées. Au sommet de cette zone d'ébullition, on note un enrichissement important de l'argent (3100 ppm) et de l'or (21300 ppb) soit environ dix fois les teneurs moyennes. L'argent s'exprime sous forme de sulfures et de sulfosels et l'électrum est le premier minéral d'or identifié dans les dépôts hydrothermaux actuels de la Mer Rouge.

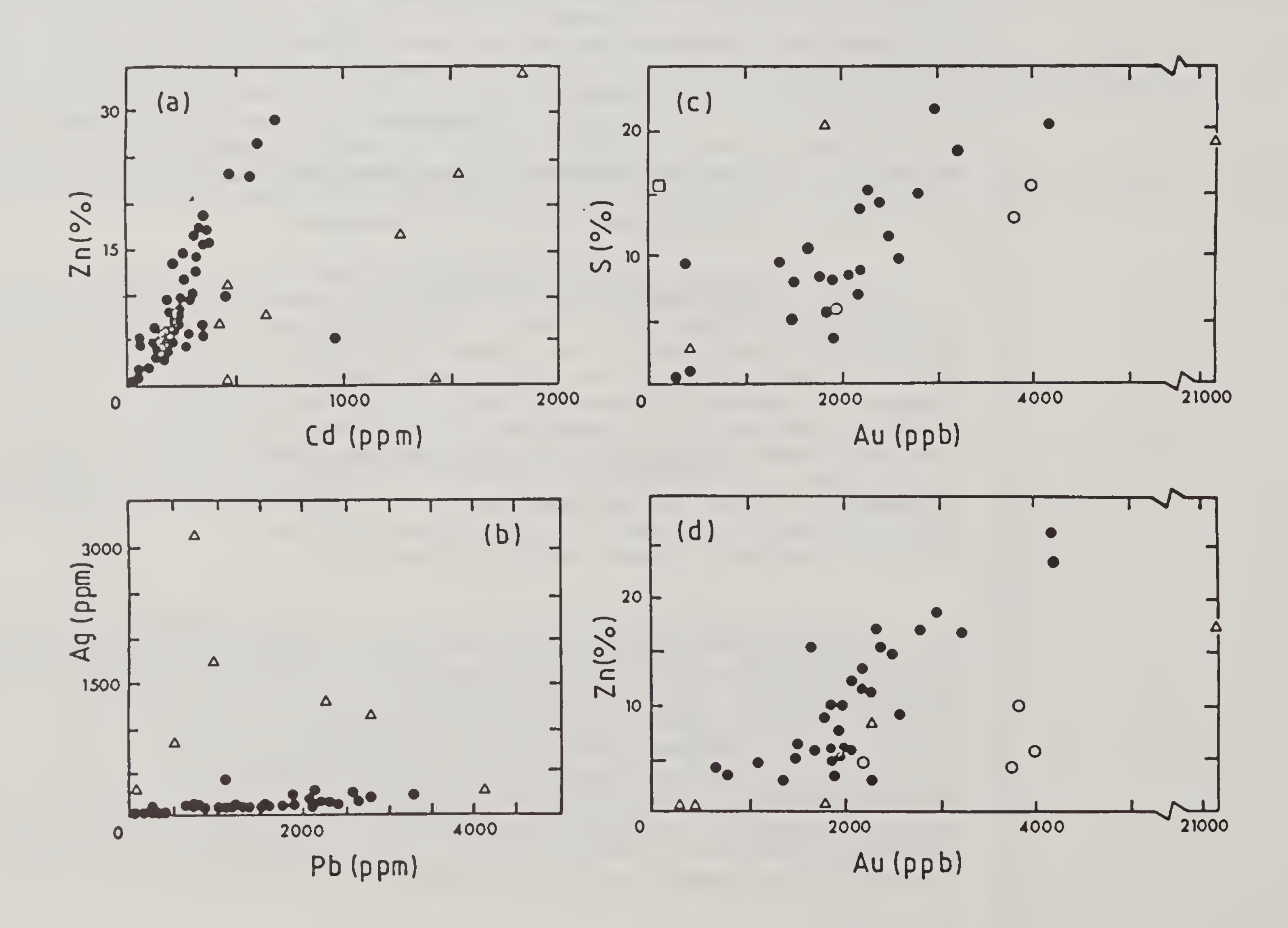


Figure 1 - Diagramme de corrélation des métaux et du soufre dans les sédiments de la Mer Rouge.

△ Zone d'ébullition.

Dans les gisements fossiles (porphyry copper, gisements épithermaux d'Au - Ag) on a souvent décrit des enrichissements en métaux précieux dans la zone d'ébullition. Dans les dépôts actuels de la Ride Est Pacifique, l'argent et parfois l'or (S. Scott, communication orale, 1985) se concentre dans les dépôts les plus froids caractérisés par l'abondance de silice, barytine, plomb, arsenic et antimoine que l'on peut comparer aux faciès silico-barytiques enrichis en or des gisements du Soudan découverts et étudiés depuis quelques années par le BRGM.

REFERENCE

E. OUDIN (sous presse) - Trace element and precious metals concentrations in the East Pacific Rise, Cyprus and Red Sea submarine sulfide deposits. Advanced Research Institute, publié par l'OTAN.

E. OUDIN, Y. THISSE, C. RAMBOZ, 1984 - Fluid inclusion and mineralogical evidence for high-temperature saline hydrothermal circulation in the Red Sea metalliferous sediments : Preliminary results ; Marine Mining, V.S., n° 1, pp. 3-31.

RS 2004

Terres rares d'origine hydrothermale dans les débris de poissons des sédiments métallifères de la fosse Atlantis II (Mer rouge) : rôle de la diagenèse

Rare earth of hydrothermal origin in fish remains from the metalliferous sediments of Atlantis II deep (Red Sea): the diagenetic factor

A. COCHERIE*
E. OUDIN

Les sédiments hydrothermaux du bassin SW de la fosse Atlantis II en Mer Rouge sont caractérisés par une distribution en terres rares (T.R.) particulières (COURTOIS et TREUIL, 1977) : les spectres sont très fractionnés (La/Yb élevé) avec une très forte anomalie positive en Europium ($Eu/Eu^* > 1$). On peut considérer que ce sont également les caractéristiques du fluide hydrothermal par analogie avec celles des solutions hydrothermales de la Ride Est Pacifique (MICHARD et al., 1983).

Dans les sédiments de la Mer Rouge, les corrélations des teneurs en T.R. avec P_2O_5 et avec les rapports Zr/Hf (COCHERIE et OUDIN en préparation), ainsi que les études micropaléontologiques (BOURDILLON, 1982) suggèrent que les débris de poissons concentrent les T.R. En effet, les sédiments hydrothermaux contenant très peu de débris de poissons ont des teneurs en T.R. inférieures à 10 ppm (figure 1d). Par contre les sédiments riches en débris de poissons ou en P_2O_5 contiennent jusqu'à 0,1 % de T.R. (figure 1 b,c). Des débris de poissons triés en contiennent jusqu'à 0,4 % et leur spectre présente le même fractionnement des T.R. caractéristique, semble-t-il, du fluide hydrothermal (figure 1a).

Les débris de poissons se sont donc enrichis en T.R. par interaction avec les fluides hydrothermaux imprégnant les sédiments durant la diagénèse. Le facteur temps intervient car les débris de poissons enfouis dans les sédiments les plus anciens sont aussi les plus enrichis.

Certains niveaux ne contenant pas de débris de poissons possèdent cependant des concentrations en T.R. élevées (figure 1b), caractéristiques de ces débris. En réalité, ces niveaux sont enrichis en P_2O_5 ($\simeq$ 1,7 %) et contiennent des phosphates amorphes ou mal cristallisés qui se sont formés par déstabilisation des débris de poissons initialement abondants dans le sédiment. Les rapports Zr/Hf élevés (TLIG et LALLIER-VERGES, 1981) confirment cette interprétation. Cette dissolution -reprécipitation in situ est soit diagénétique (cinétique lente) soit épigénétique ; dans ce dernier cas, ce processus peut être dû à la circulation de fluides hydrothermaux ascendants à travers les sédiments prélevés dans une zone hydrothermale active.

REFERENCES :

BOURDILLON C. (1982) - Etude micropaléontologique de la carotte 264 KS, fosse Atlantis II, Mer Rouge. Corrélation avec la carotte 198 KS. Rapport B.R.G.M. 82/SGN 792 GEO.

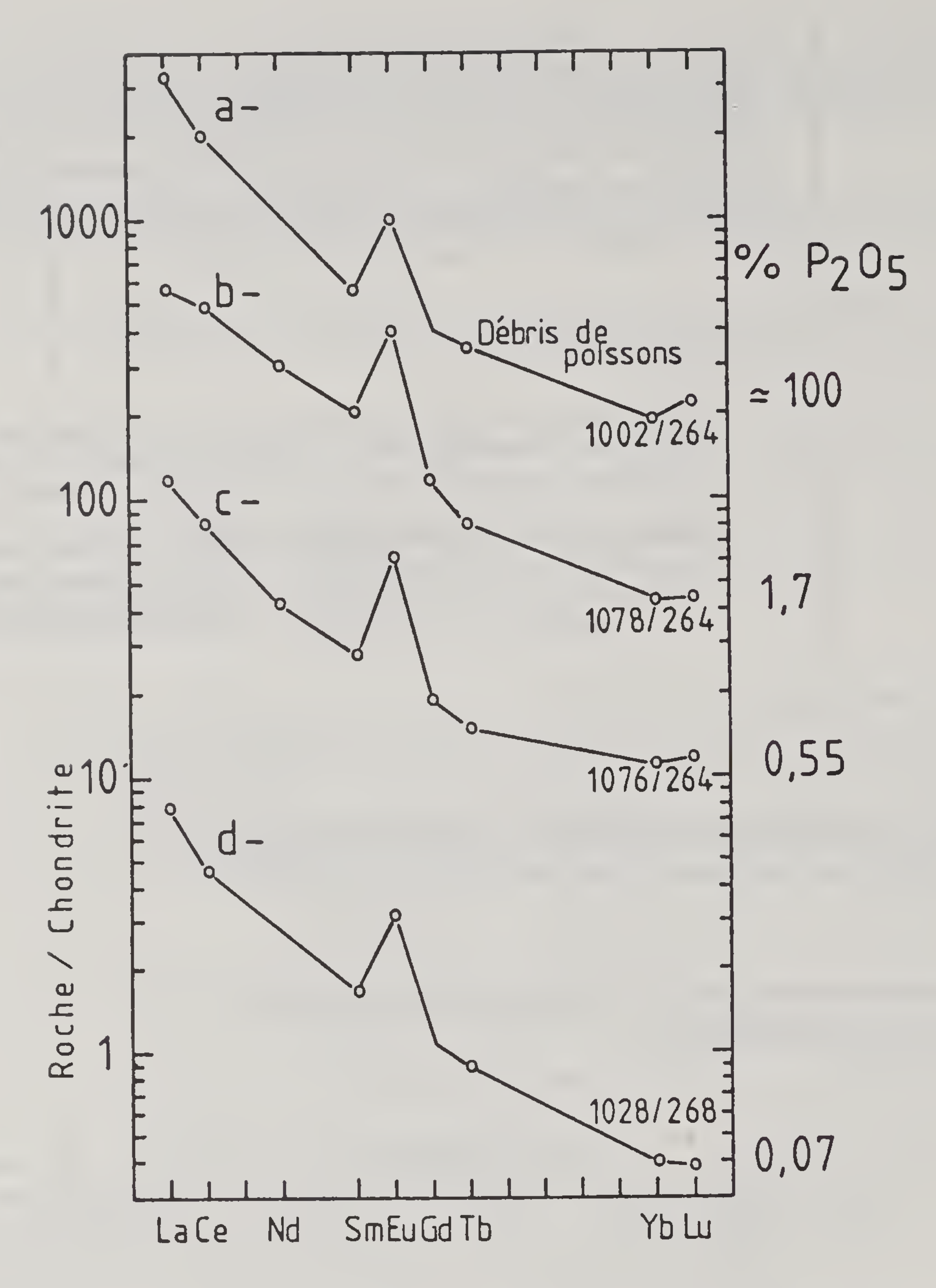


Figure 1 - Exemples illustrant la grande variation de la somme des T.R. en fonction de la composition du sédiment. On remarque l'enrichissement dans les débris de poissons et la stabilité du fractionnement des spectres.

BOURDILLON C. (1982) - Etude micropaléontologique de la carotte 268 KS, fosse Atlantis II, Mer Rouge. Corrélation avec les carottes 198 et 264. Rapport B.R.G.M. 82/SGN 792 GEO.

COURTOIS C. et TREUIL M. (1977) - Distribution des terres rares et de quelques éléments en trace dans les sédiments récents des fosses de la Mer Rouge. Chem. Geol., 20, 57-72.

MICHARD A., ALBAREDE F., MICHARD G., MINSTER J.F. et CHARLOU J.L. (1983) - Rare-earth elements and uranium in high-temperature solutions from East Pacific Rise hydrothermal vent field (13°N). Nature, 303, 795-797.

TLIG S. et LALLIER-VERGES E. (1981) - Etude minéralogique et géochimique d'un sédiment du Pacifique Centre Est. C.R. Acad. Sc. 293, 605-610.

+ GIS BRGM/CNRS, 1A rue de la Férollerie, 45071 Orléans cedex

RS 2005

Découverte de tubes de vers hydrothermaux fossiles dans un amas sulfuré de l'Eocène supérieur (Barlo, ophiolite de Zambales, Philippines)

Discovery of fossil hydrothermal worm tubes in an Upper Eocene massive sulfide deposit (Barlo, Zambales ophiolite, Philippines)

Le gisement de type "amas sulfuré" de Barlo, d'âge éocène supérieur, est associé aux basaltes en coussins du complexe ophiolitique de Zambalès aux

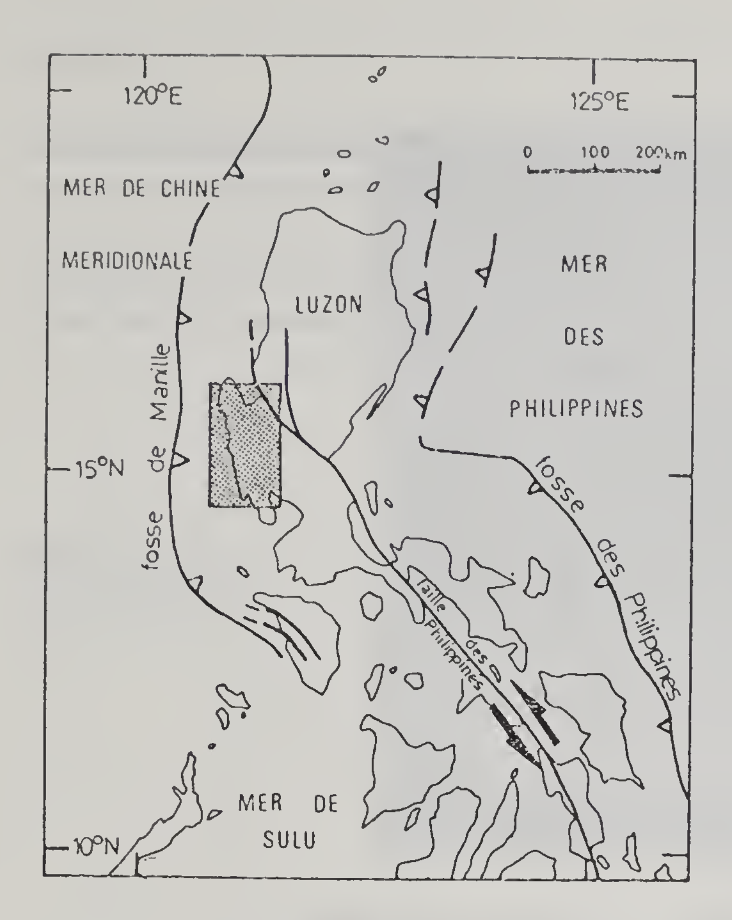
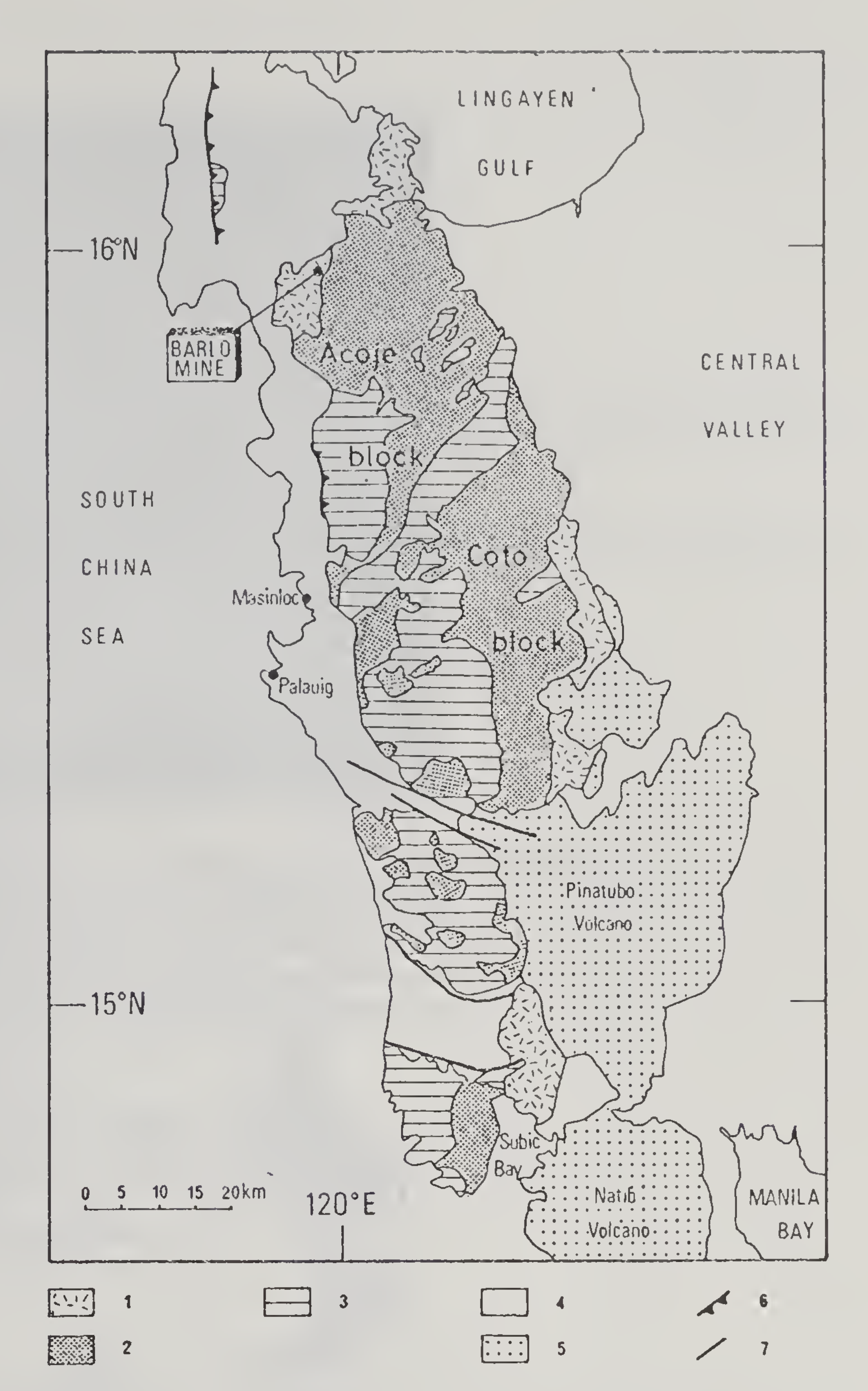
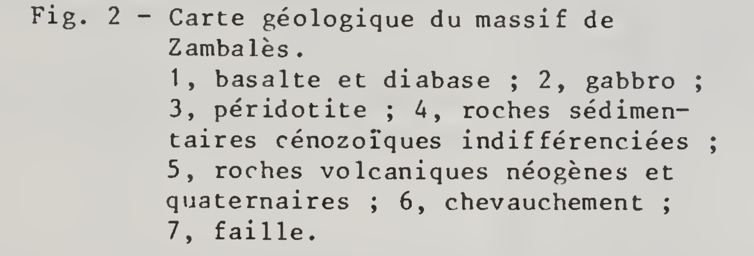


Fig. 1 - Carte de situation (le restangle en pointillé correspond à la fig. 2).




Fig. 2 - Carte géologique du massif de Zambalès.
1, basalte et diabase ; 2, gabbro ; 3, péridotite ; 4, roches sédimentaires cénozoïques indifférenciées ; 5, roches volcaniques néogènes et quaternaires ; 6, chevauchement ; 7, faille.

J.M. BOIRAT
Y. FOUQUET*

Philippines (fig. 1 et 2). Il est remarquable par le fait qu'il présente beaucoup d'analogies (géologiques, tectoniques, morphologiques, chimiques, minéralogiques) avec les dépôts de sulfures massifs actuels des rides d'accrétion océanique.

Il représente 2,3 Mt de minerai à une teneur moyenne de 2 % Cu, dont 2,2 Mt à 1,6 % Cu et 0,1 Mt à 9-9,5 % Cu. La minéralisation se présente sous forme de petits amas de sulfures alignés en direction E-NE sur environ 1 km. Chaque amas comprend une zone centrale (extension horizontale 10 à 50 m) renfermant essentiellement pyrite-chalcopyrite-blende, à haute teneur en cuivre (de 3 à 10 % Cu) et une zone périphérique plus étendue à sulfures de fer principalement, faiblement enrichie en cuivre (de 1 à 3 % Cu). La minéralisation à haute teneur en cuivre s'enracine en stockwerk dans les laves basaltiques argilisées.

L'étude minéralogique permet de distinguer deux grands types de paragenèse dans les échantillons de sulfures. La paragenèse I est essentiellement constituée de sulfures de fer (melnikovite, pyrite), tandis que la paragenèse II est marquée par une grande abondance de sulfures de cuivre (jusqu'à 20 %). C'est dans la paragenèse à sulfures de fer (type I) que des textures tubulaires ont été observées. La paroi "organique" de ces tubes a été épigénisée par de la melnikovite ou de la pyrite framboïdale, puis a servi de support au dépôt de pyrite automorphe (fig. 3).

De telles observations ont été faites dans les sulfures prélevés autour des sites hydrothermaux océaniques actuels de la ride Est-Pacifique (Hékinian et Fouquet, 1985). Des vers appartenant à la famille Alvinella Pompéjana (Desbruyères et al., 1985) sont fossilisés dans un premier temps soit par de la melnikovite, soit par de la silice, puis sont incrustés par des pyrites automorphes.

Ces textures en tubes ont déjà été décrites dans un amas sulfuré exhalatif sédimentaire du Carbonifère inférieur d'Irlande (Banks, 1985) et dans des amas sulfurés associés à des basaltes ophiolitiques du Crétacé supérieur, à Chypre (Oudin et Constantinou, 1984), en Oman (Haymon et al., 1984) et en Nouvelle-Calédonie (Oudin et al., 1985). La présence de ces mêmes textures à Barlo, à une époque intermédiaire entre le Crétacé supérieur et l'Actuel (Eocène

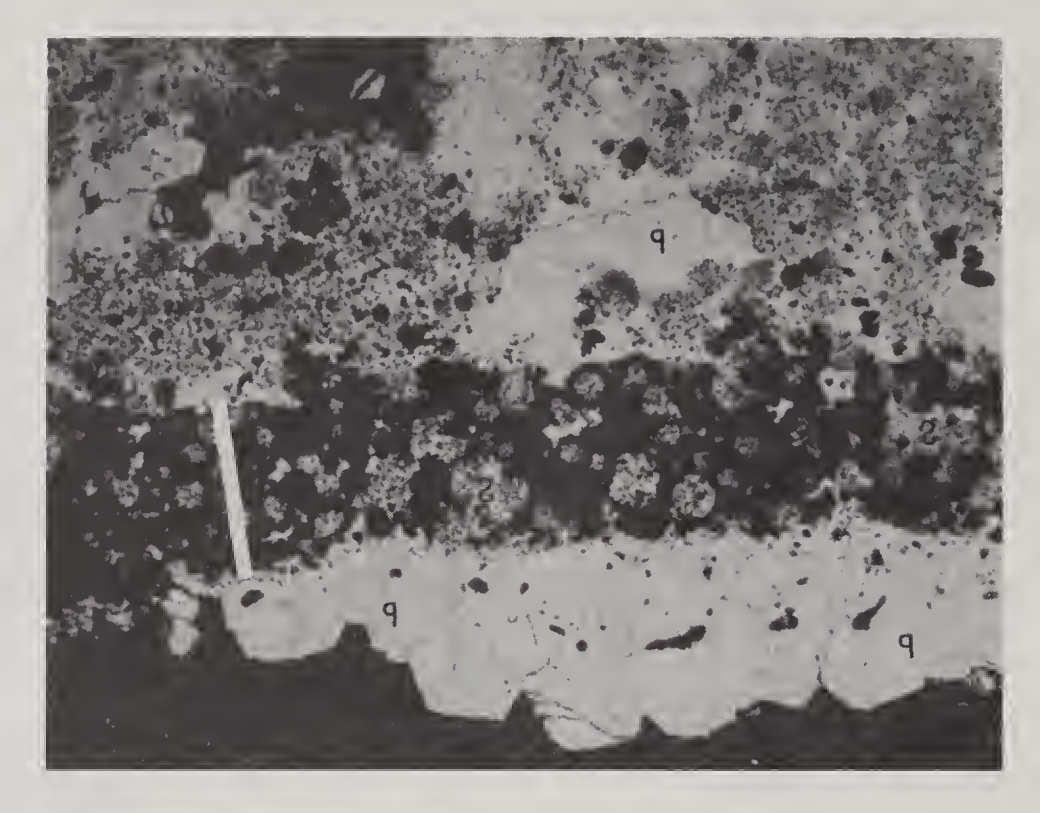


Fig. 3 - Coupe transversale de la paroi d'un tube de vers fossile du gisement de Barlo, observé au microscope optique à réflexion. La paroi a une épaisseur de 150 µm (barre blanche). Elle est épigénisée par des pyrites framboïdales (S). Les vides qui résultent de la dissolution de la matière organique sont comblés par l'araldite (zones noires). Les parois du tube servent de support au dépôt de pyrite automorphe (P).

supérieur), permet d'envisager la permanence et la spécificité dans le temps et dans l'espace de l'activité biologique associée aux sources hydrothermales sous-marines des rides d'expansion océaniques.

Cette étude (Boirat et Fouquet, sous presse) a été réalisée dans le cadre du GIS "Océanologie et Géodynamique" de Brest.

REFERENCES :

BANKS D.A. - A fossil hydrothermal worm assemblage from the Tynagh lead-zinc deposit in Ireland. Nature, 1985, Vol. 313, N° 5998, p. 128-131.

BOIRAT J.M. et FOUQUET Y. - Découverte de tubes de vers hydrothermaux fossiles dans un amas sulfuré de l'Eocène supérieur (Barlo, Ophiolite de Zambalès, Philippines). C.R. Acad. Sci. Paris (sous presse).

DESBRUYERES D., GAIL F., LAUBIER L., FOUQUET Y. - Polychaetous annelids from hydrothermal vent ecosystems : an ecological overview. Biol. Soc. Wash. Bull., 1985, N° 6, p. 103-116.

HAYMON R., KOSKI R.A., SINCLAIR C. - Fossils of hydrothermal vent worms from Cretaceous sulfide ores of the Samail Ophiolite, Oman. Science, 1985, Vol. 223, p. 1407-1409.

HEKINIAN R. et FOUQUET Y. - Volcanism and metallogenesis of axial and off-axial structures on the East Pacific Rise near 13°N. Econ. Geol. 1985, Vol. 80, N° 2, p. 221-249.

OUDIN E. et CONSTANTINOU G. - Black smoker chimney fragments in Cyprus ore deposit. Nature, 1984, Vol. 308, N° 5957, p. 349-352.

OUDIN E., BOULADON J., PARIS J.P. - Vers hydrothermaux fossiles dans une minéralisation sulfurée des ophiolites de Nouvelle-Calédonie. C.R. Acad. Sci. Paris, 1985, T. 301, Série II, N° 3, p. 157-162.

* Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer.

RS 2006

Les minéralisations miocènes à récentes de la Cordillère centrale de Luzon (Philippines) dans leur cadre géodynamique

Miocene to recent mineralization associated with the Manila trench subduction in the Central Cordillera of Luzon (Philippines)

J.M. BOIRAT
P. MALETERRE*

La Cordillère Centrale de Luzon (Philippines) est un arc plutono-volcanique associé à la subduction vers l'est de la croûte océanique Oligocène-Miocène inférieur du bassin de la mer de Chine méridionale sous l'île de Luzon (fig.).

Des épisodes successifs de plutonisme et de volcanisme y sont connus du Miocène inférieur à l'Actuel. Une activité hydrothermale est associée à ces

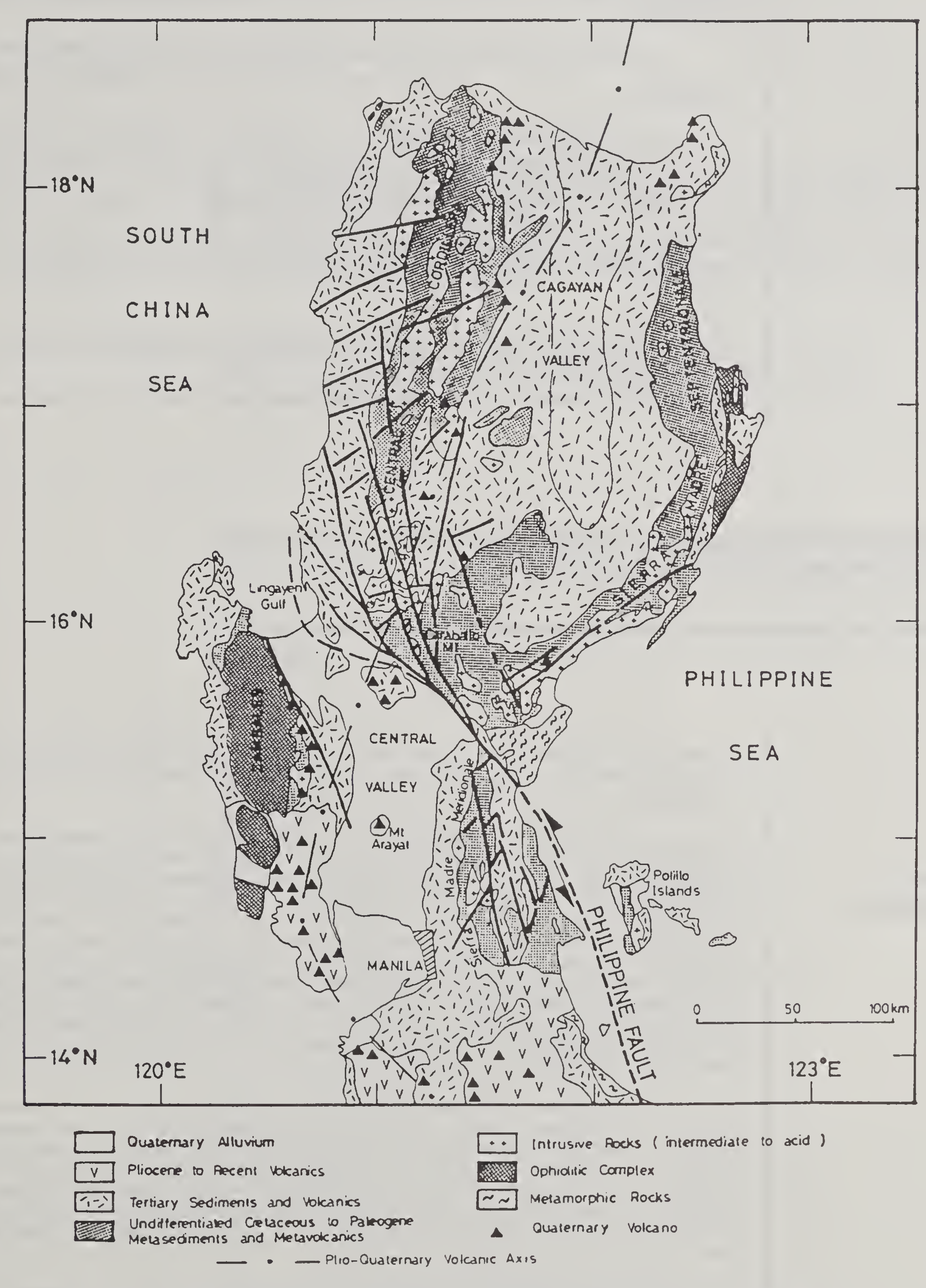


Fig. Carte géologique du nord de Luzon (modifiée à partir de la carte géologique des Philippines, Philippine Bureau of Mines, 1963)

J.F. STEPHAN*
G.R. BALCE**
L. GUILLOUX

complexes plutono-volcaniques. Elle est à l'origine du dépôt de minéralisations cupro-aurifères variées. Cinq types de gîtes ont été distingués :

- type 1 : porphyry-copper à Cu-Au-(Ag)-(Mo) ;
- type 2 : amas de substitution à Zn-Cu-Au-(Ag)-(Pb)-(Cd) ;
- type 3 : gîtes filoniens de sulfures de cuivre-arsenic à Cu-As-Au-(Ag)-(Te) ;
- type 4 : minéralisations disséminées à Au-Ag-(Cu)-(Te) ;
- type 5 : gîtes filoniens à Au-Ag-(Cu)-(Te).

Les minéralisations de types 1 et 2 sont les plus anciennes (7,3 à 3,6 Ma). Elles se sont mises en place à des niveaux profonds dans ou en bordure des complexes plutono-volcaniques. Celles de types 4 et 5 sont les plus récentes (< 1 Ma). Elles se sont déposées dans des conditions superficielles en liaison avec le volcanisme aérien.

La relation "âge-profondeur de mise en place" de ces minéralisations est la conséquence de l'intense surrection puis érosion ayant affecté la Cordillère Centrale de Luzon au Plio-Quaternaire. Cette surrection est associée au mouvement décrochant sénestre de la faille des Philippines et est contemporaine de la collision qui survient à la même époque entre l'extrémité sud de l'arc de Luzon et la marge passive sud de la mer de Chine méridionale (îles de Palawan et de Mindoro).

REFERENCES :

BOIRAT J.M., MALETERRE P., STEPHAN J.F., BALCE G.R., GUILLOUX L. - Miocene to recent mineralization associated with the Manila trench subduction in the Central Cordillera of Luzon (Philippines). Submitted to the Circum-Pacific Energy and Mineral Resources Conference, Singapore, August 17-22, 1986.

MALETERRE P. - Une approche de la géologie de la Cordillère Centrale de Luzon, Philippines. Mémoire de D.E.A., Université de Bretagne Occidentale, Brest, 1985.

* GIS "Océanologie et Géodynamique", Université de Bretagne Occidentale, 29283 Brest Cedex.

** Bureau of Mines and Geosciences, P.O. Box 1595, Manila, Philippines.

RS 2007

Encroûtement d'oxyde de manganèse et hydrothermalisme sous-marin fossile dans l'Arc ancien des Petites Antilles

Manganese oxide crust and fossile submarine hydrothermalism in the older arc of the Lesser Antilles

P. BOUYSSE
J.K. KANG*
A. KOSAKEVITCH
E. LALLIER-VERGES**

Un encroûtement d'oxyde de manganèse, sous forme de bloc libre, a été dragué sur un flanc du banc Bertrand, haut-fond situé à une quinzaine de km au nord de Grande-Terre de Guadeloupe, c.a.d. sur l'arc externe des Petites Antilles, volcaniquement inactif depuis le début du Miocène.

Cet échantillon présente des caractères qui lui confèrent une origine hydrothermale indéniable. Cette conclusion s'appuie aussi bien sur une analyse texturale approfondie de l'encroûtement, que sur des critères minéralogiques (todorokite bien cristallisée) et géochimique (faibles teneurs en Ni, Cu, Co, Zn, Pb et terres rares, et allure du spectre de ces dernières). Le concrétionnement enveloppé dans un mince cortex ferromanganésifère d'origine marine franche (thalassique) renferme des remplissages de micrite, une passée pyroclastique et un dépôt de sulfate de Mg et Al (probablement une espèce minéralogique nouvelle). L'inclusion de foraminifères dans l'oxyde de manganèse a permis d'attribuer un âge d'environ 3 Ma (Pliocène supérieur) à la phase d'activité hydrothermale, c.a.d. une vingtaine de millions d'années après l'extinction de l'activité volcanique à cet endroit de l'arc insulaire.

La genèse de l'encroûtement ne semble pas être liée au fonctionnement de l'arc volcanique interne (actif depuis le Miocène) situé à une cinquantaine de km à l'ouest. Elle pourrait en revanche avoir été induite par des circulations d'eau de mer à travers un réseau de fractures, dans un contexte de forte sismicité dû à l'interaction de rides transformantes atlantiques avec la zone de subduction. La remobilisation des éléments chimiques de l'armature volcanique du haut-fond s'est probablement exercée à partir de formations déjà hydrothermalisées lors de l'activité de l'arc externe.

Ce travail a été réalisé en collaboration avec le Laboratoire de Géochimie des Roches Sédimentaires (U.A. 723) d'Orsay.

REFERENCE :

BOUYSSE P., KANG J.K., KOSAKEVITCH A. et LALLIER-VERGES E. - Dépôt de manganèse hydrothermal du Pliocène supérieur dans l'arc externe des Petites Antilles (Banc Bertrand, NE de la Guadeloupe). Article soumis pour publication à Oceanologica Acta.

* Adresse actuelle, Korean Ocean Research and Development Institute, Séoul, Corée du Sud.
** Université de Paris-Sud, Orsay.

RS 2008

Fractionnement des éléments en traces (Se, Ni, Co, Cd, Ge, Ga, As, Sb, Ag) dans les sulfures sous-marins actuels de la Ride Est Pacifique et leurs analogues fossiles de Chypre

Trace element (Se, Ni, Co, Cd, Ge, Ga, As, Sb, Ag) fractionation in submarine sulphides from the East Pacific Ridge and fossil analogues from Cyprus

E. OUDIN

Les échantillons analysés ont été prélevés en différents sites éloignés les uns des autres de plusieurs milliers de kilomètres sur les Rides Est Pacifique, Juan de Fuca et Galapagos. Les études minéralogiques montrent que les sulfures prédominants (Fe - Cu - Zn) varient d'un site à l'autre mais que les associations minérales observées et l'évolution de la paragenèse en fonction de la température de dépôts ont les mêmes (Oudin, 1983). Les analvses

Tableau I - Analyses de Se, Ge, Ga, Hg, Cd, Ni, Co, Ag, As et Sb dans les sulfures de la Ride Est Pacifique (I, II), de Juan de Fuca (III), des Galapagos IV et de Chypre (VA, cheminée de cuivre de haute température, VB, wurtzite prédominante, VC, pyrite massive)

Sample Number		Se	Ge	Ga	Hg	Cd	Ni	Co	Ag	As	Sb
I	1149-1-5	490	3	nd	nd	119	55	75	23	nd	nd
	1150-1-2B	510	5	20	nd	740	5	100	60	40	nd
	1149-1-1	510	5	5	nd	550	22	100	69	nd	nd
	1149-2-15	580	3	nd	nd	9	70	80	35	nd	nd
	1156-3-2	590	3	nd	nd	4	7	75	6	nd	nd
	1149-2-18	600	3	20	nd	10	30	60	32	nd	nd
	1158-1-1	730	3	nd	nd	3	15	70	4	nd	nd
	1158-1-2	810	3	5	nd	5	25	100	4	nd	nd
	982-R-5	810	3	nd	nd	5	20	100	9	nd	nd
IIA	1157-2-1A	340	30	70	nd	1980	5	10	81	40	40
	1159-1-6	220	5	70	0.5	2380	nd	10	17	nd	nd
	1159-1-1A	150	4	125	nd	1460	5	10	30	40	nd
IIB	1159-1-1	70	90	40	nd	255	10	10	464	510	130
	1159-1-4	50	70	25	nd	740	20	10	150	310	90
	1159-1-3	40	28	25	1.2	830	5	10	90	260	70
	1159-1-2	20	45	25	1.9	720	7	10	90	330	60
III	22D2A	na	85	25	na	1380	4	50	70	na	na
	22D2B	na	180	10	na	635	2	25	215	na	na
	22D2(3)	na	90	2	na	610	3	10	47	na	na
IV		nd	4	5	nd	8	48	125	5	180	nd
V A	34526	nd	3	10	nd	16	25	10	6	720	nd
	36549	nd	12	15	nd	9	20	15	40	570	20
	34525	nd	25	30	na	96	45	10	50	430	60
V B	CH18A	nd	45	180	11	1810	8	7	132	190	330
	CH18B	nd	15	90	0.6	1260	5	nd	82	nd	60
V C	34527	nd	3	nd	na	nd	5	10	0.2	nd	nd
	34521	nd	3	5	0.06	2	20	10	1	240	nd

chimiques des éléments en traces (Se, Ni, Co, Cd, Ge, Ga, As, Sb et Ag) dans ces sulfures effectuées par spectrométrie à étincelle au CEA (tableau I) mettent en évidence le fractionnement de ces éléments en fonction de la température de dépôt (Oudin, sous presse). Dans les dépôts de haute température à sulfures de cuivre prédominants, selenium, nickel et cobalt sont en teneurs élevées (tableau I, I). Lorsque le sulfure de zinc prédomine sous forme de wurtzite automorphe (haute température), le cadmium et à un moindre degré le gallium sont abondants (table I, II A et III, 22 D 2 A).

A basse température (blende collomorphe associée à pyrite, galène, opale et barytine) on note des teneurs élevées en Ag, As et Sb qui peuvent s'exprimer sous forme de minéraux propres (tennantite, jordanite, galène arseniée, Oudin 1981 et 1983). Dans un échantillon de la ride des Galapagos (tableau I, IV) ou la pyrite collomorphe prédomine, on note les teneurs en cobalt et arsenic, éléments pouvant entrer en teneurs assez élevées dans la pyrite. On note la même évolution des éléments en traces dans des échantillons de Chypre similaires à ceux de la Ride Est Pacifique (Oudin et Constantinou, 1984) (tableau I, V) sauf en ce qui concerne le selenium. Cette différence est soit primaire, soit secondaire c'est-à-dire due à la diagenèse, au métamorphisme ou plus simplement à la disparition par recristallisation de phases instables comme cela est déjà le cas à Chypre pour l'opale et certains sulfures de fer et cuivre.

REFERENCE

OUDIN E. avec la participation de L. LE BEL et C. FOUILLAC, 1981 - Etude minéralogique et géochimique des dépôts sulfurés sous-marins actuels de la Ride Est Pacifique (21° N) ; Document du BRGM n° 25.

OUDIN E., 1983 - Mineralogie de gisements et indices liés à des zones d'accretions océaniques actuelles (ride Est Pacifique et Mer Rouge) et fossile (Chypre). Chronique de la Recherche Minière, n° 470, pp. 43-56.

OUDIN E. et CONSTANTINOU G., 1984 - Black smoker chimney fragments in Cyprus Sulphide deposits ; Nature, V. 308, n° 5957, pp. 349-353.

OUDIN E. (sous presse) - Trace element and precious metals concentrations on East Pacific Rise, Cyprus and Red Sea submarine sulphide deposits. Advanced Research Institute, 1985, publié par l'OTAN.

RS 2009

Etude géochimique à la microsonde électronique du minerai à Cu-Zn du gisement volcano-sédimentaire de Chessy (Rhône). Implications génétiques

Geochemical study of microprobe of Cu-Zn ore from Chessy volcanogenic massive sulfide deposit (Rhône). Genetic implications

M. LARDEAU*

Le gisement sulfuré à Cu-Zn de Chessy-Les-Mines, situé dans le groupe volcano-sédimentaire de la Brévenne, a été l'objet de travaux de reconnaissance détaillés de la part du BRGM (Division Minière Massif Central). Les géologues miniers y ont défini différents types de faciès minéralisés : amas s.s. (minerai lité, faciès pyriteux, minerai barytique), minerai brèchique, disséminé et en stockwerks. Un échantillonnage en mine et sur sondages a permis d'approfondir l'étude minéralogique et géochimique du minerai (Thèse en cours, Université d'Orléans).

Les études métallographiques antérieures (P. Picot et Z. Johan, BRGM, rapports inédits de 1976 à 1984) montrent qu'à Chessy les principaux minéraux du minerai sont la pyrite, la chalcopyrite, la blende et accessoirement la galène pour les sulfures, et la barytine. On trouve aussi : cuivres gris, molybdénite, mispickel, marcasite, pyrrhotite, ménéghinite, bournonite, et rutile. Les sulfures principaux ont fait l'objet d'analyses détaillées à la microsonde électronique.

La pyrite de Chessy-Les-Mines apparaît cristallisée, et cimentée par les autres sulfures. Il n'a pas été observé de pyritosphères ni d'agrégats globulaires comme cela est le cas dans d'autres gisements volcano-sédimentaires français tels que La-Porte-Aux-Moines (Côtes du Nord) et Bodennec (Finistère). Certains grains subautomorphes à automorphes situés dans la chalcopyrite massive présentent des zonations de croissance bien marquées et liées à la présence de Ni et Co. Le cobalt, et surtout le nickel, semblent caractériser les pyrites tardives formées dans la chalcopyrite massive de recristallisation. L'arsenic a également été détecté dans ces pyrites en

bordure de cristaux. Les teneurs en As et en Co ne dépassent pas 1 %, les teneurs en Ni peuvent aller jusqu'à 1,7 %.

Les cuivres gris sont associés à la chalcopyrite et à la galène, soit en plages xénomorphes très complexes, soit en grains subautomorphes à automorphes, à zonations de croissance bien marquées. Ces différentes structures reflètent essentiellement des variations du rapport As/Sb. Les cuivres gris de la brèche sous-amas sont les mieux définis chimiquement:ce sont les plus riches en Ag (de 3,5 à 6 %), en Sb (maximum : 3,5 at. Sb pour (As + Sb) = 4 at.), alors que Bi est absent.

Les blendes du gisement sont toujours en plages xénomorphes, de couleur vert clair à rouge (selon la teneur en fer, la densité d'inclusions de chalcopyrite et la cristallinité). Ces blendes présentent des macles de croissance ou des macles mécaniques. La répartition des micro-inclusions de chalcopyrite se fait le long de ces plans de macles et des joints de grains. Cette répartition des macles et des inclusions de chalcopyrite s'explique par le fait que le vieillissement de la blende, dû à la compaction du minerai, au métamorphisme et aux contraintes tectoniques, aboutit à la formation de ces macles mécaniques en même temps que le fer contenu dans la blende est expulsé du réseau cristallin : il reprécipite dans les plans de macles et aux joints de grains, en se combinant au cuivre, plus mobile, sous forme de chalcopyrite. Ceci est confirmé par les variations de teneur en fer de la blende : ces teneurs augmentent (maximum : 9 %) quand les inclusions de chalcopyrite sont rares ou absentes, alors que les blendes riches en inclusions ont des teneurs en fer très basses (de 0 à 2 %). Ce phénomène est analogue à celui décrit à Bournac (Hérault) (Munoz et Moëlo, 1982). A l'échelle du gisement, la variation moyenne des teneurs en fer dans les blendes, qui croissent d'ouest en est, et la présence à l'ouest du gisement d'une intrusion granitique, sembleraient indiquer un rôle déterminant du métamorphisme de contact dans la transformation de la blende.

A Chessy, la galène est rare ; on la trouve en plages xénomorphes le plus souvent associées à la chalcopyrite. Sur l'ensemble du gisement, elle se distingue par un rapport Bi/Ag (at.) toujours supérieur à 1. Comme pour les cuivres gris les galènes de la brèche sous-amas sont les plus caractéristiques : ce sont les plus riches en Bi (plus de 1 %), elles sont parmi les plus riches en Ag (environ 0,2 %), avec des traces de sélénium (0,08 %).

La cristallinité grossière de la pyrite et la transformation de la blende, entre autres, témoignent de l'influence des évènements géologiques sur l'évolution texturale du minerai de Chessy ; de plus il semble déjà possible de caractériser certains types de minerais par la chimie des minéraux sulfurés, principalement par la présence de certains éléments mineurs ou en traces.

L'étude morphogénétique et géochimique fine des sulfures principaux des minerais de Chessy montre ainsi qu'il est possible de conforter la discrimination macroscopique des différents faciès par des critères analytiques à échelle microscopique. Cette approche comparative, développée à l'échelle d'un corps minéralisé semble pouvoir être également appliquée entre gisements d'un même district ou de provinces métallogéniques distinctes (Etude en cours sur Sain Bel, Bodennec, La-Porte-Aux-Moines et Chizeuil).

REFERENCE

MUNOZ M. et MOELO Y. - Etude paragénétique de la minéralisation sulfurée complexe (Sb-Pb-Zn ...) de Bournac (Hérault, France). Bull. Minéral., (1982), 105, 625-632.

*CRSCM (GIS CNRS-BRGM), 1A, rue de la Férollerie, 45071 Orléans Cédex 02.

RS 2010

Le district à amas sulfurés et or d'Ariab (Soudan). Données nouvelles et interprétations

Massive sulphide and gold deposits of Ariab, Soudan. New data and interpretations

C. BRAUX
P. CORTIAL
F. COTTARD
Y. DESCHAMPS

La poursuite de la prospection et du développement minier, réalisée en 1985 dans la région d'Ariab (Red Sea Hills) et appuyée sur des études spécialisées permet de présenter des résultats nouveaux.

Sur le plan stratigraphique, le complexe volcano-sédimentaire d'Ariab est subdivisé en 5 unités notées, dans l'ordre chronologique, de A à E :

- unité A ou "greenstone complex" : basaltes et roches de semi-profondeur (microgabbros et diorites) à interdigitations de listvénites ;

avec la collaboration de
A.M. HOTTIN
P. LEDRU
L. VIALLEFOND

- unité B, représentant la majeure partie de la série volcanique : volcanites intermédiaires (andésites, dacites) et pyroclastites grossières et fines ;
- unité C : volcanites acides (rhyodacites, rhyolites). Sa caractérisation sur le terrain a conduit à individualiser deux sous-unités, C1 et C2, porteuses des minéralisations sulfurée et aurifère mais associées à des horizons stratigraphiques distincts. C1 est exprimée de manière très localisée à l'intérieur de l'unité B ; C 2, beaucoup plus développée et d'extension régionale, surmonte l'unité B ;
- unité D (sporadique) : laves intermédiaires et basiques ;
- unité E : série très épaisse, à dominante sédimentaire, reposant en concordance au-dessus de l'ensemble volcanique.

Du point de vue structural, le district d'Ariab forme une boutonnière anticlinoriale, les unités A, B et C apparaissant au sein de l'unité E. Cet anticlinorium est affecté par de grands cisaillements longitudinaux (N 60°-70°) ou transverses (N 120-150°). Deux phases majeures de déformation plicative, contemporaines du métamorphisme régional, ont été reconnues :

- la phase P 1, génératrice du plissement isoclinal, induit une schistosité de flux parallèle à la stratification ;
- la phase P 2, complexe, est liée à un serrage E-W. Elle s'accompagne d'une schistosité de fracture et de plis cylindriques.

Les figures d'interférence de ces deux phases orthogonales, visibles à différentes échelles, influent sur la géométrie des gisements d'Oderuk et d'Hadal Auatib avec apparition de structures en dômes et bassins.

Basée sur une quarantaine d'échantillons de roche, **l'étude géochimique comparative** des éléments majeurs, des traces et des Terres Rares permet d'esquisser plusieurs tendances du volcanisme. La mieux marquée est celle correspondant aux basaltes et andésites des unités A et B qui montrent des caractères de tholéiites pauvres en potassium, mises en place à un stade précoce dans un environnement d'arc insulaire. Les rhyolites de la sous-unité C2 ont des spectres appauvris en Terres Rares lourdes, marquant une tendance calco-alcaline. Les volcanites intermédiaires et le basalte, rattachés à l'unité sommitale D, s'individualisent par des teneurs plus élevées en TiO_2, fer total, Zr, Y et Terres Rares, traduisant une affinité avec les tholéiites océaniques et un caractère plus différencié.

L'interprétation des données géochimiques nouvelles sur les roches silico-barytiques aurifères montre que la minéralisation à or résulterait d'un processus complexe associant :

- un lessivage hydrothermal intense des roches volcaniques acides avec disparition presque totale de l'alumine et des alcalins ;
- le dépôt de barytine et l'apparition d'un cortège métallique caractéristique à Sb, Sn, Pb, Ag, différent de celui des gossans et des minéralisations sulfurées sous-jacentes.

Enfin, la **position de ces formations silico-barytiques** est précisée : souvent associées aux amas sulfurés, elles peuvent cependant exister en lentilles indépendantes de ceux-ci (ex. Tumbinaî, découvert en 1985). Ce fait important démontre la dissociation spatiale possible entre les phénomènes minéralisateurs donnant les amas sulfurés et ceux générateurs des roches silico-barytiques aurifères.

D'autre part, lorsque ces formations sont associées aux amas sulfurés, leur position apparaît variable :

- en couches subconcordantes au mur des amas (formations d'Hassaî et d'Oderuk) ;
- en intercalations ramifiées avec ceux-ci (gisement de Talaîderut) ;
- en lentilles au toit de certains amas (gisement d'Hadal Auatib SW).

La barytine est disséminée dans les gîtes sous amas et devient plus massive dans les niveaux supérieurs et les lentilles isolées.

REFERENCES :

COTTARD F., DESCHAMPS Y., BRAUX C. (1985) - Gold and massive sulphide deposits of Ariab area. Rapp. BRGM 85 SDN 011.

COTTARD F., BRAUX C., CORTIAL P., DESCHAMPS Y., HOTTIN A.M., LEDRU P. et al. (1986) - Les amas sulfurés polymétalliques et les minéralisations aurifères du district d'Ariab (Red Sea Hills, Soudan). Chron. Rech. min. (à paraître).

Minéralisations liées aux granitoïdes. Hydrothermalisme continental

1- Gîtes de départ acide

RS 2011

Comportement géochimique de Sn et W ; comparaison avec d'autres éléments en traces (T.R., Ta, Th, Cs)

Geochemical behaviour of Sn and W ; comparison with other trace elements (REE, Ta, Th, Cs)

A. COCHERIE*
Ph. ROSSI*
G. MEYER**

Action concertée C.E.E. : MSM 031 F.

Les granites associés aux minéralisations W-Sn présentent des caractères pétrographiques et géochimiques des éléments majeurs proches de ceux de leurs homologues stériles ; nous avons donc comparé le comportement géochimique de W et Sn avec celui des terres rares (T.R.), de Ta, Th et Cs dans les deux contextes : granites minéralisés et granites stériles (AUTRAN et al., 1986).

Dans les diagrammes interéléments on constate que l'on obtient généralement des droites de corrélations indiquant une évolution par cristallisation fractionnée des bains acides étudiés (67 à 77 % SiO_2), cette évolution se traduit par une augmentation des teneurs en Sn, W et Ta jusqu'au terme du processus magmatique.

Ces éléments étant pris comme référence on peut observer qu'au cours de la différenciation les T.R. légères perdent rapidement leur caractère hygromagmaphile pour des teneurs en Ce voisine de 100 ppm. Ceci se traduit par exemple dans un diagramme Ce = f(Sn) par une chute rapide des teneurs en Ce et un basculement des spectres de T.R. puisque les T.R. lourdes conservent plus longtemps cette propriété initiale. Ce même phénomène apparait pour Th et Cs, mais à des degrés d'évolution plus élevés. Il faut souligner que le basculement des spectres de T.R. (diminution de La/Yb) se rencontre aussi bien dans le cas des granites minéralisés que stériles, il n'existe donc pas de relation univoque entre le fractionnement des spectres de T.R. d'un ensemble granitique et sa potentialité métallogénique. Ce basculement des profils de T.R. peut s'expliquer par la cristallisation de phases accessoires très riches en T.R. légères (allanites, monazites etc ...).

Ainsi, on peut remarquer le parallélisme d'évolution des rapports Eu/Eu* et La/Yb, qui diminuent en fonction des teneurs en Sn pour des ensembles stériles ou bien associés à des minéralisations. Au contraire, le niveau de teneur en Sn ou W, nettement plus élevé dans le cas des granites minéralisés dès les premiers termes de la différenciation, permet d'affirmer que les minéralisations sont liées à des bains granitiques issus de protolites initialement riches en Sn et W. Ceci apparaît bien dans le diagramme Sn = f(SiO_2) (fig. 1). Par la suite, la cristallisation fractionnée joue un rôle concentrateur, l'étape ultime qui conduit aux minéralisations étant sans doute en relation avec une démixion des fluides dont les caractères isotopiques sont très proches de ceux du magma parent (ROSSI et al., 1984).

On peut alors définir un outil de prospection simple : si pour environ 72 % de SiO_2 on a moins de 10 ppm de Sn on peut considérer que l'ensemble granitique étudié est stérile. Ce type de discrimination nécessite cependant une méthode sensible et fiable jusqu'à des teneurs de 1 ppm pour Sn et 0,5 ppm pour W. Ceci est possible en activation neutronique. En particulier, on a dosé Sn en spectrométrie γ de coïncidence directement sur poudre de roche irradiée (MEYER et al. 1985).

REFERENCES :

AUTRAN A., COCHERIE A., ROSSI Ph., MEYER G. et FOUILLAC A.M. (1986) - Problème de l'existence et de l'identification des granites métallogènes à W et Sn. Modalités de genèse et caractérisation. Coll. gisements de Tungstène Toulouse 12-14 mai 1986.

ROSSI Ph., COCHERIE A., FOUILLAC A.M. et CALVEZ J.Y. (1984) - Géochimie des éléments en traces et des isotopes (Sr,O) des granites de

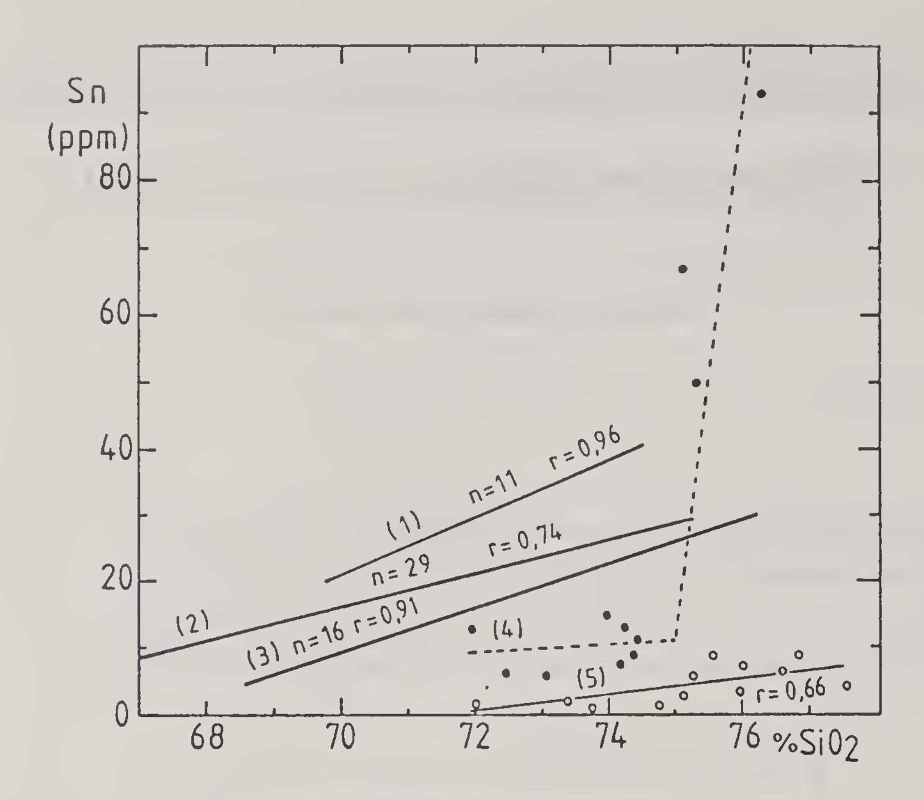


Fig. 1 - Distribution de différents granites dans le diagramme Sn = f(SiO_2). 1. Granites de Chanon et St-Silvain ; 2. Granites de Viseu (Portugal) ; 3. Granite de l'W de la Margeride ; 4. Granite de St-Renan ; 5. Granites de la Corse varisque. (1),(2),(3) : d'après ROGER et DERRE (1980).

Panasqueira (Portugal). C.E.E. Semi-annual report, décembre 1984.

MEYER G., JAFFREZIC H. et TREUIL M. (1985) - Analyse instrumentale de l'étain par activation neutronique et spectrométrie de coincidence. Geostandards Newsletter, 9, 19-82.

ROGER G. et DERRE C. (1980) - Processus géochimiques de concentration liés à l'évolution de magmas granitiques. Rapport A.T.P. C.N.R.S.

* GIS (CNRS-BRGM) 1A, rue de la Férollerie, 45071 ORLEANS Cedex 02
** Laboratoire P. Süe, CEN SACLAY, B.P. n° 2, 91190 GIF-SUR-YVETTE

RS 2012

Histoire du district à tungstène de La Chataigneraie (Massif central français)

Geological evolution of the La Chataigneraie wolfram district (French Massif Central)

G. CAIA

Le district de La Chataigneraie dans le Sud-Ouest du Massif Central renferme les gîtes filoniens d'Enguialès (wolframite) et du Viala (wolframite, mispickel et molybdénite).

L'étude géologique permet de distinguer quatre épisodes principaux dans l'évolution tectono-métamorphique et métallogénique de ce secteur cristallophyllien.

1. Phase plicative (P_1) isoclinale synmétamorphe avec foliation N 145°-35° NE, au cours de laquelle se développe une paragenèse quartz, albite, séricite et chlorite.

2. Intrusion du monzogranite porphyroïde d'Entraygues (~323 Ma), développant un métamophisme de contact à andalousite, cordiérite et biotite ; cette intrusion est accompagnée par l'expression dans les roches encaissantes de veinules à quartz, mispickel, magnétite et pyrite, parallèlement à la foliation, et par l'apparition de tourmaline dans des bancs de schistes à chlorite et séricite.

C'est probablement à la suite de cet évènement que se mettent en place les dykes et sills (N 140°) de roches microgrenues de chimisme intermédiaire à acide, ainsi que les filons à wolframite du gisement d'Enguialès. Ces derniers présentent deux directions principales : ils sont tantôt concordants avec S_1 ("filons mâles"), tantôt discordants (N 30° - 90°) ("filons femelles") tout en étant pénécontemporains les uns des autres.

3. Phase plicative (P_2) à plis d'axe N 115°-10° E, déversés vers le Sud avec une schistosité de strain slip. Cette phase bien développée dans les formations phylliteuses de la série métamorphique, s'estompe au voisinage du granite d'Entraygues.

4. Compression subméridienne provoquant des kinks à axes subverticaux, des décrochements, et des fentes de tension N-S, dans lesquelles se mettent en place, d'une part des granites peralumineux évolués à tourmaline, cordiérite et sillimanite, et d'autre part les filons subméridiens à wolframite du Viala.

Les gîtes d'Enguialès et du Viala paraissent donc s'être formés à des époques distinctes, sous l'effet d'une activité magmatique répétée. Ils se distinguent aussi par leurs relations géométriques avec les intrusions : elles sont nettes au Viala où la minéralisation est encaissée dans un dyke de leucogranite aplitique. Elles sont discrètes à Enguialès où aucun granite n'est connu à l'affleurement, mais où le développement de faciès de métamorphisme de contact et d'un halo de tourmaline laisse soupçonner la proximité d'une intrusion.

2 - Minéralisations aurifères

RS 2013

Géochimie des fluorines des gîtes d'or du Colorado

Geochemistry of fluorite from Colorado gold deposits

M. JEBRAK

Collaboration USGS-BRGM

Depuis la fin du XIXème siècle, le Colorado a produit près de 1500 tonnes d'or qui proviennent de 4 grands types de gîtes primaires :

A l'Eocène, gîtes filoniens dans le socle précambrien (20 % de la production totale) et amas de substitution dans les carbonates de la couverture carbonifère (10 %). Ces minéralisations, souvent riches en métaux de base, seraient liées aux phases de compression et aux intrusions porphyriques résultant de la subduction de la plaque Farallon (phase laramienne).

Au Mio-Pliocène, filons dans les volcanites, tantôt andésitiques dans les montagnes de San Juan (20 % de la production totale), tantôt alcalines à Cripple Creek (45 %). Des systèmes hydrothermaux différenciés sont associés à chacune des phases éruptives : porphyres à molybdène, filons aurifères.

Des filiations ont été proposées entre ces différents types de gîte. Afin de mieux appréhender leurs conditions de dépôt et les relations génétiques entre eux, une analyse du contenu en éléments-traces des fluorines associées a donc été entreprise par activation neutronique. Ces fluorines sont en effet des révélateurs particulièrement sensibles de la composition des solutions hydrothermales.

Dans le district éocène de Jamestown, la richesse en Th et terres rares des fluorines, leur anomalie négative en europium, confirment leur liaison avec les intrusions à tendance alcaline (bostonite) du district et le caractère assez réducteur de ces dépôts.

Parmi les fluorines rapportées au Mio-Pliocène, trois groupes peuvent être distingués :

- Les fluorines de Cripple Creek présentent les marques d'une liaison avec le magmatisme alcalin : enrichissement en TR légères, fractionnement prononcé, abondance d'éléments métalliques en traces (Mo, Au, Zn, Fe, Na, Sr).

- Les fluorines des sources thermales fossiles situées sur les failles bordières du rift de Rio Grande montrent peu de TR et un faible fractionnement. Elles pourraient résulter de la circulation d'eaux superficielles peu salines à des températures n'excédant pas 140°C. Leur spectre de TR est identique à celui de la source thermale de la mine de fluorine du Maine dans le Morvan en France.

- Les fluorines du district de Creede montrent des variations de leur contenu en TR que l'on peut paralléliser avec le fonctionnement paléohydrogéologique du système hydrothermal. Au Nord, le fractionnement des TR et le caractère positif de l'anomalie en Europium témoignent d'une émergence thermominérale (en équilibre avec les roches felsiques), tandis qu'en allant vers le Sud, la proximité de la caldera de Creede et de solutions superficielles est marquée par une réduction du fractionnement et de l'anomalie. Le spectre des TR permet de suivre ce mélange de solution et d'estimer leurs proportions respectives.

Il apparaît ainsi que trois types de fluides peuvent être distingués : fluides superficiels et fluides équilibrés soit avec des roches felsiques soit avec des roches alcalines. On peut cependant alors se demander si la composition

des roches-sources n'est pas le plus important dans la définition de la ceinture aurifère du Colorado. L'existence de petits amas à Cu-Au sulfurés dans le socle précambrien renforce cette hypothèse.

REFERENCE

JEBRAK M., WETLAUFER P., FOLEY N. et GOSS J. - Trace element content of fluorite from Colorado (en préparation pour Canadian mineralogist).

RS 2014

Les filons de "quartz aurifère" : un cas particulier de shear zone aurifère

Gold-bearing quartz veins: a special case of gold-bearing shear zone

M. BONNEMAISON

Les études menées depuis trois ans sur une centaine de gisements de type filons de quartz aurifères ont montré que ces derniers résultaient du broyage d'anciens filons de quartz stériles et de leur imprégnation par une minéralisation aurifère. La genèse du minerai diffère donc notablement du modèle filonien dans la mesure où la gangue ne résulte pas d'un phénomène de remplissage mais d'un phénomène de broyage. On a pu montrer que ces gîtes se rattachaient en fait à un type de gisement beaucoup plus général : les shear zones aurifères.

Celles-ci correspondent à des structures minéralisées d'ordre kilométrique et de puissance décamétrique qui s'insèrent dans de grands couloirs tectoniques ayant fonctionné durant de longues périodes. Dans ces structures, la minéralisation aurifère apparaît dans les zones qui ont subi un broyage intensif au cours des phénomènes de cisaillement. Ce broyage peut affecter des faciès variés correspondant soit aux séries encaissantes, soit à des formations mises en place dans les couloirs de cisaillement : filons de quartz blanc laiteux, lames intrusives acides, copeaux de roches ultrabasiques,...

Le piégeage de l'or peut s'effectuer par incorporation dans un sulfure ou par précipitation sous forme de petits nuages de fines particules à proximité immédiate d'un cristal de sulfure. Ce dernier mécanisme n'est actif que dans un milieu particulier constitué par une mylonite de quartz et un gel de silice, dont la recristallisation fournit un quartz microsaccharoïde. Celui-ci est issu des roches riches en silice remobilisée in situ par les phénomènes de broyage. Il sert de réceptacle à la minéralisation aurifère. Son abondance, au même titre que la richesse en sulfures, détermine la potentialité d'une shear zone aurifère.

Suivant les relations qui s'établissent entre l'or et la paragenèse sulfurée, il est possible de définir des traceurs géochimiques semi-stratégiques, tels que As, qui caractérisent la shear zone aurifère dans son ensemble, et des traceurs géochimiques tactiques, tels que Pb, caractéristiques des seules zones riches en or.

Les phénomènes d'altération supergène, particulièrement actifs sur ces gîtes, provoquent la désagrégation sélective de la minéralisation aurifère et, généralement, une augmentation concomitante de la taille des particules d'or ; le niveau altéritique des shear zones aurifères est ainsi le site privilégié pour la formation des pépites. En climat équatorial, la partie superficielle des gîtes est lessivée au profit du niveau altéritique alors qu'en climat tropical sec, elle est enrichie au détriment de ce dernier niveau.

REFERENCE :

BONNEMAISON M. (1986) - Les "filons de quartz aurifère" : un cas particulier de shear zone aurifère. Chron. rech. min., n° 482, mars 1986, p. 55-66.

RS 2015

Géochimie des phases fluides associées à la minéralisation aurifère du prospect de Sanoukou (Mali)

Geochemistry of the fluids associated with the gold mineralisation in the Sanoukou prospecting area (Mali)

ARC *"gisements d'or"* (PIRSEM)

Décision d'aide MIR 83.E 1072. (DGRST)

Une étude des phases fluides a été menée sur des quartz aurifères et stériles provenant d'un gîte de type "shear zone". dans le prospect de Sanoukou (Mali).

P. HUBERT
P. OUSTRIERE
J.C. TOURAY *

Les méthodes non destructives d'étude des inclusions fluides (microthermometrie et spectrométrie Raman) ont abouti au modèle suivant :

. Premier cycle :

a) Piégeage à 310° C et 1,8 Kb de vapeurs riches en gaz carbonique (fraction molaire de CO_2 (XCO_2) comprise entre 25 et 30 moles %).

b) à la faveur d'une baisse de pression, mélange mécanique entre des fluides aqueux riches en gaz carboniques (15 moles %) et des vapeurs carboniques (XCO_2 ≃ 80 moles %).

c) évolution de ce système par baisse de température et de pression avec une diminution de la fraction molaire de CO_2.

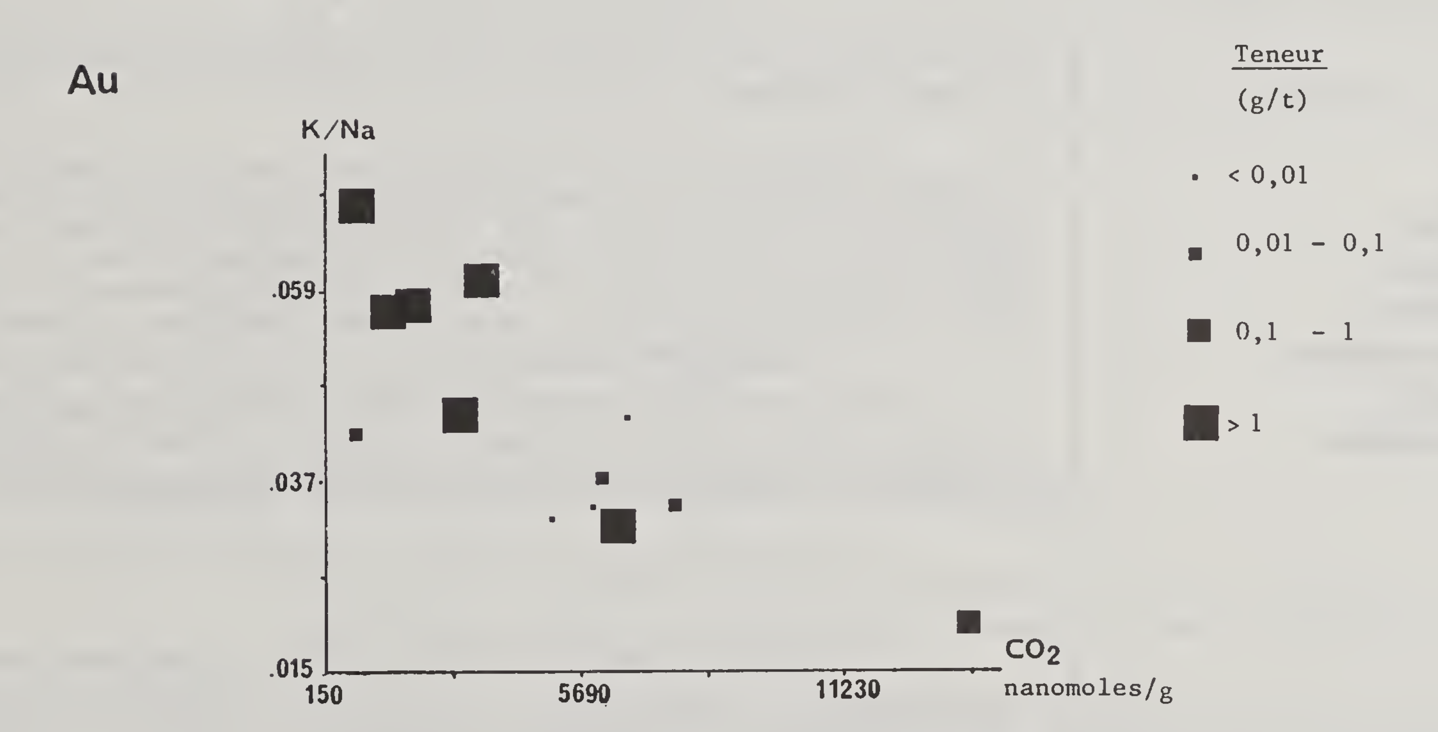
. Deuxième cycle :

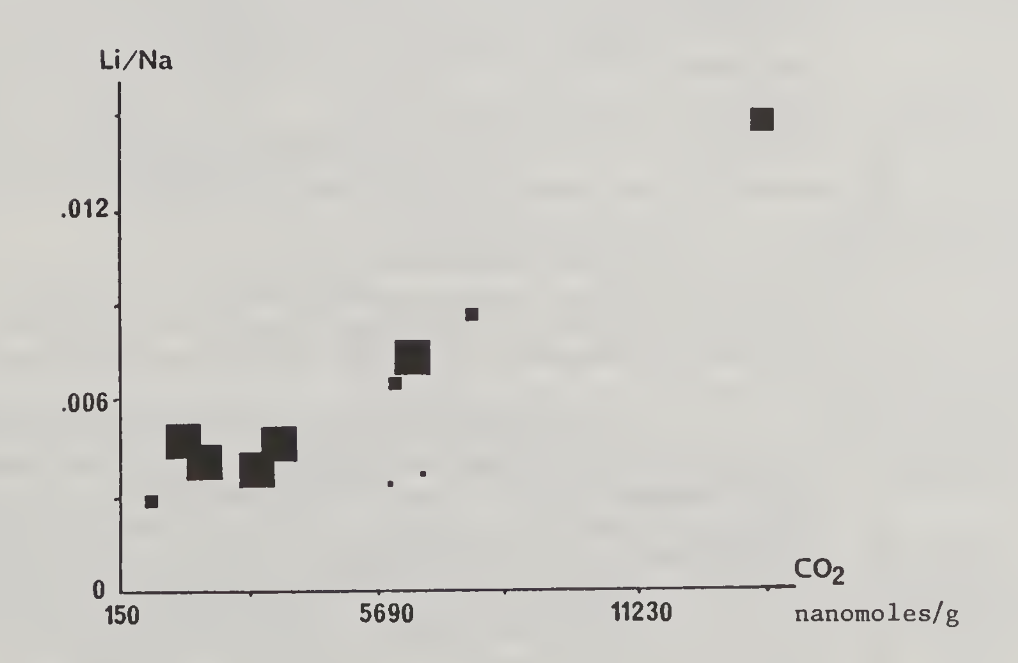
a) piégeage de fluides ou de vapeurs aqueuses pauvres en CO_2 (XCO_2 < 15 moles %) à haute température (350°C) et basse pression (0,4 Kb).

b) dilution et refroidissement par des solutions aqueuses de moyenne température (300-250°C).

c) mélange de ces fluides avec des solutions très salines de plus basses températures (150-200°C).

Le premier cycle de haute pression correspond à une phase de décompression en régime lithostatique. Il s'accompagne dans les zones broyées de la mise en place d'un assemblage quartzeux microcristallin ("quartz microsaccharoïde") auquel est associée une minéralisation à arsénopyrite et or peu argentifère.





Les échantillons les plus riches en or (> 1 g/t) présentent un rapport Li/Na faible, K/Na fort et sont plutôt pauvres en CO_2

Le second cycle correspond à une phase d'ouverture en régime hydrostatique. Il s'accompagne de la cristallisation de quartz hyalin dans des fractures cicatrisées ou des microgéodes. Ce quartz est associé à de la dolomite ferrifère, des traces de galène et sulfosels et de l'or argentifère.

L'analyse globale des inclusions fluides de quartz aurifères et stériles par spectrométrie ICP et chromatographie en phase gazeuse révèle que les échantillons minéralisés (Au > 1 g/t) sont plutôt pauvres en CO_2 avec des rapports K/Na forts et Li/Na faibles. Les valeurs de ces rapports caractérisent les fluides du second cycle minéralisateur. Ce dernier pourrait favoriser la concentration de l'or.

L'analyse globale des inclusions fluides en donnant l'importance relative des différentes générations de fluides dans un échantillon donné permet de déterminer si celui-ci est potentiellement aurifère. Cette méthode, si elle venait à être confirmée, présenterait l'avantage de s'affranchir des conditions supergènes et plus particulièrement des processus de latéritisation qui tendent à gommer la signature géochimique de la minéralisation et de l'altération hydrothermale associée.

* Universite d'Orléans. Laboratoire de Géologie Appliquée.

RS 2016

Le gîte d'or de Dondo Mobi (Gabon) : contrôles de la minéralisation

Dondo Mobi gold deposit (Gabon): controls of mineralization

F. AYE
P. BOUTIN
J.P. BRETON
A.M. HOTTIN
C. KASSA MOMBO*
C. LAFORET
L. VIALLEFOND

Travaux réalisés pour le compte du Syndicat Or ETEKE associant l'Etat Gabonais, la COMUF et le B.R.G.M.

Le gîte d'or de DONDO MOBI se situe au Nord du village d'ETEKE, à l'extrémité septentrionale d'une ceinture subméridienne de roches vertes limitée par le socle sialique du CHAILLU (daté de 2 600 millions d'années) à l'Est et par le socle granito-gneissique de MOUKANDZA à l'Ouest. Au niveau du gîte, la ceinture de roches vertes est recouverte en discordance structurale par la formation des schistes et quartzites de l'OGOOUE et en contact anormal avec le socle de MOUKANDZA.

Les études pétrographiques, minéralogiques, géochimiques et structurales des carottes de sondage ont permis de préciser la lithologie de l'encaissant et des porteurs d'or, la nature du minerai, les contrôles hydrothermaux, structuraux et géochimiques de la minéralisation.

Macroscopiquement, on distingue six groupes lithologiques principaux affectés à des degrés divers par l'hydrothermalisme :

a) <u>les amphibolites et les faciès quartzo-dolomitiques associés</u> :

Les analyses I.C.P. multi-éléments montrent que ces amphibolites sont, en fait, d'anciennes ultrabasites. Les faciès quartzo-dolomitiques associés sont des hydrothermalites dérivant de l'altération de ces roches ultrabasiques (listvénites). Le fond géochimique en or de l'ensemble amphibolites + faciès quartzo-dolomitique est élevé (supérieur à plusieurs centaines de ppb). Dans le cas de fortes teneurs, l'or est préférentiellement concentré dans et à proximité de fractures sigmoïdes remplies de quartz microsaccharoïde, carbonates et d'allanite. L'or y est alors associé à de la tourmaline, des tellurures de Bi, de la molybdénite, de la pyrite, parfois de la scheelite, de la blende et de la chalcopyrite. Ces accompagnateurs et plus spécialement Sn et Bi sont les témoins d'un hydrothermalisme de type départ acide.

b) <u>les talcshistes</u> :

Une analyse I.C.P. multi-éléments confirme leur nature ultrabasique. Ils ne sont pas affectés par la listvénitisation et ne contiennent pas d'or. On y observe, en revanche, des traces de l'hydrothermalisme acide (molybdénite).

c) <u>les gneiss quartzo-plagioclasiques à biotite et muscovite</u> :

ont une origine orthodérivée probable à partir de roches porphyriques subvolcaniques. Leur altération hydrothermale se traduit par la présence de biotite, muscovite, tourmaline et sulfures dont la molybdénite. A proximité des contacts avec les amphibolites, ils sont parfois envahis par l'association quartz microsaccharoïde-carbonate magnésien, et minéralisés en or.

d) <u>les gneiss grenus à grain moyen à grossier</u> :

sont des métaleucogranites trondhjémitiques stériles.

e) <u>les granites roses</u> :

sont des granites alcalins d'anatexie qui recoupent les faciès précédemment décrits.

f) les schistes et quartzites :

constituent une série sédimentaire à niveaux phosphatés riches en baryum, qui, par son cortège géochimique, se rapporte à la formation des schistes et quartzites de l'OGOOUE.

Les amphibolites et les faciès silico-carbonatés associés porteurs de la minéralisation aurifère se présentent sous forme de plusieurs lentilles juxtaposées étirées de pendage et d'orientation conformes à la schistosité principale Sp (N 155 E 55°) qui affecte l'ensemble des unités précédemment décrites. Sp a joué, semble-t-il, en plans de cisaillement, notamment au niveau des contacts entre faciès de compétences différentes (contacts entre gneiss et amphibolites).

Les fractures à quartz microsaccharoïde porteuses d'or sont situées le long de ces zones de cisaillement. Leur forme sigmoïde, le caractère statique non orienté de leur remplissage et leur orientation très oblique sur Sp permettent de les interpréter comme des fractures en extension (type fractures de RIEDEL) le long des zones de cisaillement Sp.

Ainsi, les concentrations exploitables sont guidées par la superposition des phénomènes suivants : lithologie ultrabasique, listvénitisation, hydrothermalisme acide et ouvertures le long des zones de cisaillement.

REFERENCES :

- F. AYE (1985) : Contribution à l'étude du gîte d'or de DONDO MOBI (district d'ETEKE, GABON) - Rapport B.R.G.M. 85 GAB 078 GMX (confidentiel).

- P. BOUTIN et C. KASSA MOMBO : Géologie et prospection pour or sur le permis G 4 - 104 ETEKE GABON.
Campagne de sondages 1984-1985 - Rapport B.R.G.M. 85 GAB 041 (confidentiel).

* Directeur du Service Géologique - D.G.M.G. - B. P. 576 LIBREVILLE (GABON)

RS 2017

Données nouvelles sur le contexte géologique régional des minéralisations aurifères de la région nord Eteke (Gabon)

New data on geological setting of gold-bearing mineralization of the North Eteke Area, Gabon

P. PIANTONE
P. LEDRU
C. KASSA-MOMBO*
J. EKO N'DONG

Travaux réalisés dans le cadre de la mission inventaire stratégique transgabonais.

Les résultats de la campagne stratégique 1985 sur la région Nord Etéké autorisent une première réflexion sur le contexte géologique des minéralisations aurifères. La zone cartographiée montre des séries volcanogènes et gréso-pélitiques disposées selon un faisceau d'orientation Nord-Est Sud-Ouest poinçonné entre deux môles granitiques archéens : le massif du Chaillu à l'Est et le dôme de Moukandza à l'Ouest.

Une coupe Ouest Est de ce faisceau a montré la présence de 4 termes lithologiques majeurs :

(1) une série ultrabasique en majorité stéatitisée ou trémolitisée ;
(2) une série grésopélitique mésozonale appartenant au Groupe de l'Ogooué ;
(3) une série grésopélitique épizonale à schistes noirs (S.S.) et accidents siliceux ;
(4) une série composée de séricito-chlorito-schistes, et de métavolcanites (faciès schistes verts) de nature intermédiaire à ultrabasique.

La bordure ouest du faisceau, aussi bien dans le socle que dans la série volcanosédimentaire montre le développement d'une activité magmatogène intense caractérisée par de petits corps intrusifs ou extrusifs (?) de roches acides à mafiques : trondhjemites, tonalites, granodiorites, amphibolites.

Les rapports entre les différentes séries sont, dans l'état actuel de nos connaissances, délicats à interpréter. La juxtaposition de séries mésozonales et de séries épizonales et leur superposition mise en évidence plus au Nord laissent supposer la présence d'écailles juxtaposées.

La découverte de textures spinifex dans les roches ultrabasiques, combinée à une analyse ICP*, tend à prouver une signature komatitique :

* Analyse semi-quantitative I.C.P., étude complémentaire en cours.

$CaO/Al_2O_3 \simeq 0.9$, $Al_2O_3/TiO_2 \simeq 21.5$, $MgO \simeq 23.2 > Al_2O_3 \simeq 8.2$ % (1 et 2). Les teneurs en éléments de transition $Ni \simeq 807$, $Co \simeq 80$, $Cr \simeq 3556$ et $V \simeq 190$ ppm sont compatibles avec celle d'une komatiite à spinifex (3).

Dans l'état actuel des données structurales et pétrochimiques, une première hypothèse peut être avancée pour expliquer le contexte régional des minéralisations aurifères :

Schématiquement les termes volcaniques et sédimentaires forment une pile logique en regard des formations des ceintures vertes protérozoïques :

- de roches volcaniques ultrabasiques ;
- de roches volcaniques à hypovolcaniques de nature intermédiaire ;
- une série sédimentaire grésopélitique à schistes noirs et accidents siliceux.

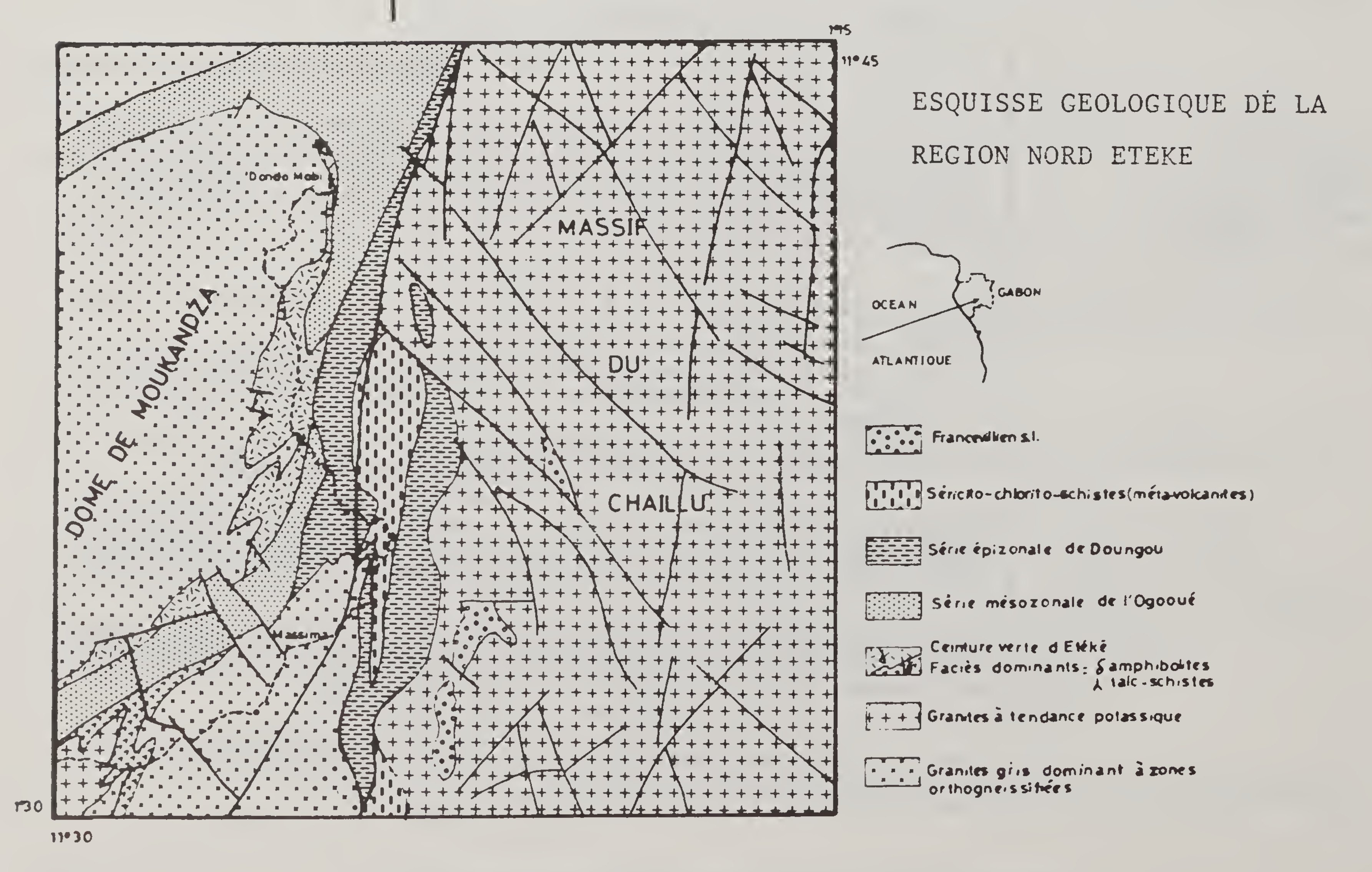
Les données recueillies sur les roches ultrabasiques et la compilation des résultats obtenus sur la zone d'Ovala (4), à quelques kilomètres à l'Ouest, montrent la signature tholéïtique des amphibolites et ainsi tendent à démontrer l'existence d'un volcanisme de type komatiitique tholéïtique dans cette région. Ainsi à partir des thèmes développés ci-dessus, il est raisonnable d'imaginer à Etéké, selon le modèle proposé par Kroner (5), l'existence d'un rift intracratonique. Une telle disposition géostructurale rend parfaitement compte de la complexité de l'activité magmatique recensée autour du faisceau d'Etéké. Les roches volcaniques à hypovolcaniques de nature intermédiaire comme certaines amphibolites et granodiorites appartiendraient au cycle tholéïtique. Suivant les hypothèses abordées, les trondjhemites et tonalites pourraient représenter la protocroûte originelle ou la fusion partielle de roches basiques (5). Les relations spatiales de ce bassin avec les séries sédimentaires qui appartiennent au cycle birrimien datent cette période de distension du début du Protérozoïque.

CONCLUSION

L'originalité de la région d'Etéké est de présenter des traits comparables à certains bassins ensimatiques protérozoïques de l'Afrique de l'Ouest, ce qui constitue un environnement géologique très favorable pour l'or. L'existence de roches ultrabasiques à signature komatiitique probable et les implications métallogéniques que cela induit (Ni, Pt...) devront être prises en considération.

REFERENCES
1/ BROOKS C. & HART S.R. (1974) - On the significance of Komatiites. Geology 2, 2, pp. 107-110.
2/ LUDDEN J.N. & GELINAS L. (1982) - Trace elements characteristics of Komatiites and komatiitic basalts from the Abitibi metavolcanic belt of Quebec. Komatiites, pp. 331-346.
3/ AUVRAY B., BLAIS S., JAHN B.M. & PIQUET D. (1982) - Komatiites and komatiitic series of the Finnish greenstone belt. Komatiite, (NT ARNDT & E.G.NISBET eds), George Allen & Unwin, London, pp. 131-146.
4/ KASSO-MOMBO (1984) - Contribution à l'étude géologique du gisement aurifère d'Ovala (massif du Chaillu, Gabon). Thèse de 3e cycle soutenue à l'Université de Nancy I.
5/ KRONER A. (1984) - Changes in plate tectonic styles and crustal growth during the Precambrian. B.S.G.F. n°2.

* Direction du Service Géologique. DGMG. Libreville, Gabon.



3 - Métallogenèse des granitoïdes

RS 2018

Typologie des gîtes de terres rares

Classification of REE deposits

M. LAVAL

Les gîtes de terres rares (TR) peuvent être classés en 4 groupes : les gîtes détritiques, les carbonatites, les complexes syénitiques et les concentrations dans des schistes noirs à nodules phosphatés. Seuls les deux premiers types sont exploités : surtout en Australie où les placers littoraux produisent 14.000 t/an de monazite et aux USA où le gisement de Mountain Pass contient 100 Mt de réserves à 5 % d'oxydes de terres rares.

La moitié des terres rares produites dans le monde est originaire de gîtes détritiques, l'essentiel provenant des sables littoraux à minéraux lourds et une faible partie de placers fluviatiles. Dans tous les cas, les terres rares sont recueillies sous forme de monazite. Elles ne sont qu'un sous-produit d'autres substances (ilménite, zircon, rutile, cassitérite...), qui seules déterminent l'exploitabilité des concentrations.

L'autre moitié de la production mondiale est en relation avec le magmatisme alcalin et plus spécialement avec les massifs de carbonatites. A l'intérieur de ceux-ci, les terres rares ne sont pas associées à un seul type pétrographique (sövite, sövite ankéritique, sövite dolomitique). Par contre, elles sont généralement concentrées dans le corps central du massif (quelle que soit sa composition) auréolé de fénites ou de carbonates périphériques stériles. Dans les sövites, le support minéralogique des TR, est un fluocarbonate (bastnaesite, synchysite ou parisite), mais peut également être un phosphate (monazite comme à Kangankunde au Malawi par exemple), ou un mélange des deux (Bayan Obo en Chine).

Les complexes syénitiques présentent des paragenèses minéralisées généralement plus complexes : la bastnaesite est rare ; on rencontre fréquemment avec la monazite des fluorures (gagarinite), des oxydes (davidite, loparite) et des silicates (chevkinite, britholite). A l'échelle régionale, il apparaît une relation possible entre l'indice d'agpaicité et la nature des TR, les roches miaskitiques présentant une tendance au fractionnement des TR lourdes : on observe ainsi une croissance de la teneur en TR avec l'indice d'agpaicité.

Les monazites grises (phosphate de terres rares riche en europium) apparaissent en milieu sédimentaire et plus spécialement dans des shales noirs à nodules phosphatés. Dans ces milieux réducteurs, l'europium, alors à l'état divalent a un comportement géochimique différent des autres lanthanides trivalents ; ceci explique probablement l'enrichissement en cet élément de ces monazites grises par rapport aux monazites ordinaires.

L'examen de ces données gîtologiques fait apparaître ainsi qu'il existe, à côté des 2 grands types de gisements exploités, d'autres types de gîtes n'ayant pas fait l'objet jusqu'à présent d'études approfondies ni d''exploitations suivies. Ils pourraient cependant apporter une contribution non négligeable à l'approvisionnement en terres rares si la demande s'accroissait sur le marché international.

REFERENCE

LAVAL M. (1985) - Les terres rares. Données gîtologiques et aperçu économique. Note BRGM/GMX n° 1167.

RS 2019

Etude expérimentale du partage du chlore entre liquides magmatiques aluminosilicates et fluides hydrothermaux chlorurés

The partition of chlorine between aluminosilicate magmatic liquids and hydrothermal chloride fluids : an experimental study

On a réalisé une série d'expériences en autoclave à chauffage interne en vue d'étudier, dans différentes conditions de pression (de 0,70 à 7 kb) et de température (de 700 à 900°C) le partage

F. DELBOVE*
M. ROBERT*

du chlore entre un certain nombre de liquides magmatiques, de compositions : $NaAlSi_6O_{14}$-AbQ (~ eutectique Ab-Qz), $NaAlSi_3O_8$- Ab et $NaAlSi_{1,8}O_{5,6}$-Ab Ne (~ eutectique Ab-Ne), et des fluides hydrothermaux H_2O-NaCl, de concentrations globales allant de 0,1 à 15 m.

Ces expériences ont été conduites en utilisant un rapport fluide/liquide de l'ordre de 2 et une méthode de radiotraceurs mettant en jeu ^{36}Cl, émetteur β .

La solubilité de Cl dans les liquides testés reste faible tout en présentant une variabilité considérable sous l'effet des divers facteurs étudiés. D'une manière générale, cette solubilité est d'autant plus importante qu'on a affaire à un liquide plus alumineux, à des pressions plus basses et des températures plus élevées, à l'inverse, pour ces deux facteurs, de ce qui est généralement observé pour la solubilité de H_2O.

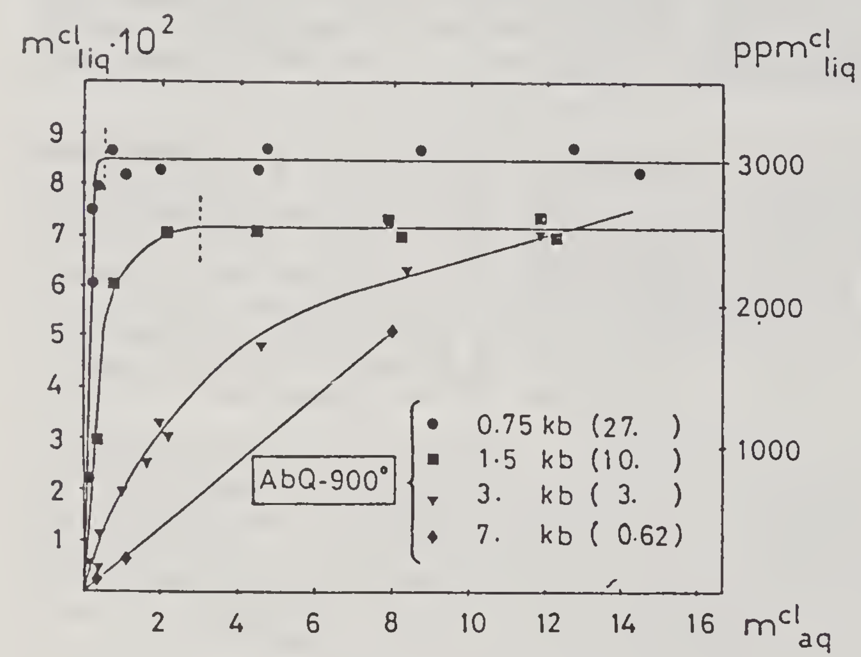


Fig. 1 - Solubilité de Cl, en moles de Cl/Kg ou en ppm Cl, à 900°C et sous diverses pressions, dans le liquide de composition AbQ, en fonction de la molalité de Cl dans le fluide salin de départ.

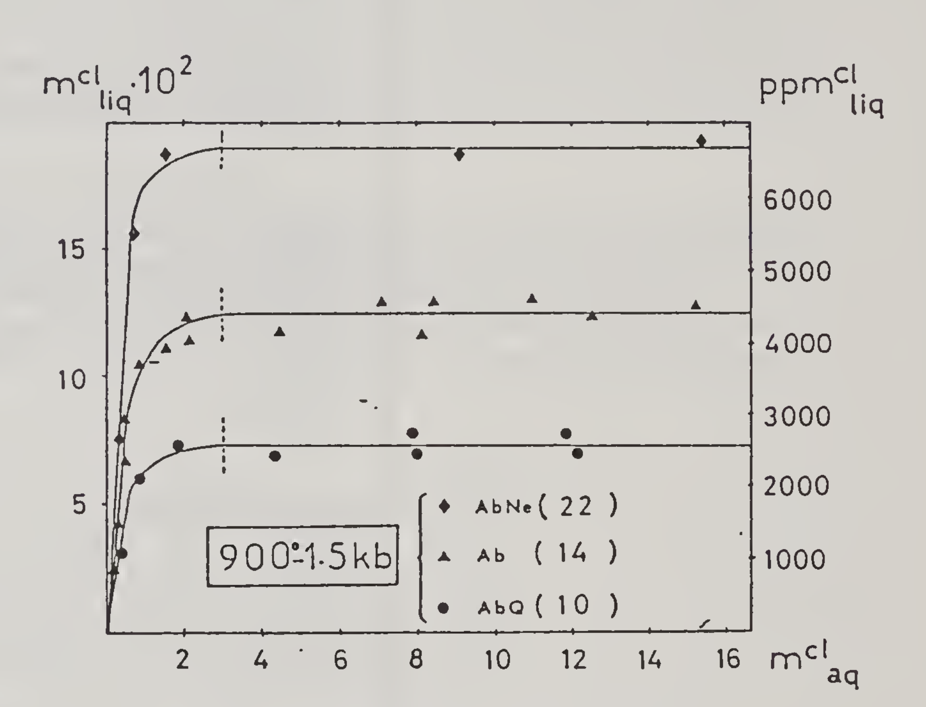


Fig. 2 - Solubilité de Cl, en moles de Cl/Kg ou en ppm Cl, à 900°C et 1,5 kb (conditions infracritiques pour H_2O-NaCl) dans les 3 liquides AbQ, Ab, AbNe, en fonction de la molalité de Cl dans le fluide salin de départ.

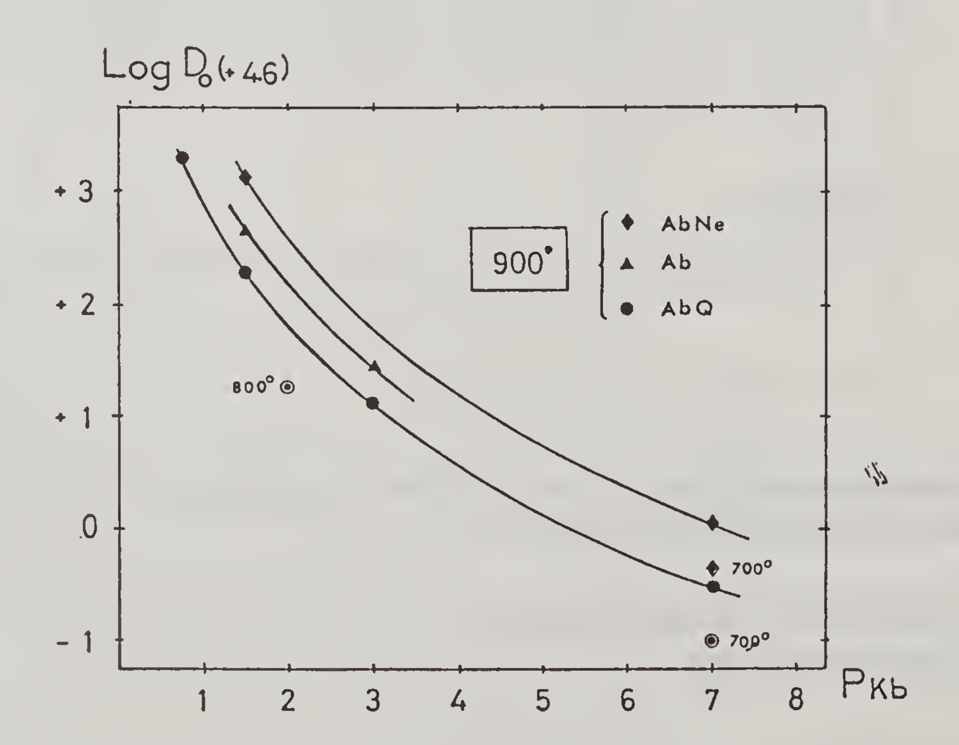


Fig. 3 - Logarithme naturel de la pente à l'origine de la courbe de solubilité en fonction de la pression pour les 3 liquides alumino-silicatés : AbQ, Ab, AbNe, à la température de 900°C.

L'influence de la concentration de Cl dans le fluide hydrothermal est sous la dépendance caractéristique des propriétés thermodynamiques très éloignées de l'idéalité du système binaire H_2O-NaCl, marquées, aux basses pressions et aux températures élevées par le phénomène d'immiscibilité critique.

Une des applications des résultats obtenus à des systèmes naturels est que la présence de saumures chlorurées ne peut être prise en compte, dans de tels systèmes, pour expliquer des teneurs relativement élevées en Cl (de l'ordre de quelques milliers de ppm) dans les liquides magmatiques associés, que si ces liquides sont hypoalumineux, la pression élevée et la température basse.

+ CRSCM (GIS BRGM/CNRS), 1A rue de la Férollerie, 45071 Orléans cedex 2

Minéralisations liées aux roches basiques et ultrabasiques

RS 2020

Classification pétrographique et structurale des ophiolites, écho de la dynamique des zones de transition croûte-manteau. Incidence sur la nature et la disposition des corps de chromite associés

Structural and petrological classification of ophiolites, a reflection of the dynamics and nature of the crust-mantle transition zone. Their importance in the genesis and location of associated podiform chromite deposits

M. OHNENSTETTER*

Les classifications pétrologiques et structurales des ophiolites et des gisements de chromite associés ont été confrontées afin d'en déduire des guides de prospection.

Les ophiolites de type I (Tab. I) qui ont des affinités pétrologiques très étroites avec le manteau supérieur et la croûte océanique sont dépourvues de gisement de chromite (Fig.). Le chimisme des ophiolites de type II s'apparente à celui des arcs insulaires et des bassins marginaux. Dans ces ophiolites trois suites magmatiques A, B et C ont été distinguées en se basant sur l'ordre de cristallisation des minéraux et la composition des liquides. La suite A est constituée de cumulats à plagioclase précoce associés à des liquides riches en éléments incompatibles dont le titane. La suite B, largement représentée dans les ophiolites, est formée de cumulats riches en clinopyroxène précoce et est associée à des liquides pauvres en titane. La suite C est formée de cumulats à orthopyroxène précoce liés à un magmatisme très pauvre en titane mais souvent enrichi en éléments à large rayon.

Dans une section ophiolitique donnée, les suites A, B et C se succèdent dans le temps, la suite C étant la plus récente. De même, le long d'une ceinture ophiolitique, ces différentes suites peuvent apparaître directement au-dessus du Moho, ces faits soulignent ainsi la grande variabilité du magmatisme ophiolitique le long des axes d'accrétion et avec le temps.

Les gisements de chromite sont situés dans des zones à haute potentialité métallogénique, interrompues par des zones dépourvues de gisement. On distingue (Tab. II) des gisements profonds intramantelliques riches en Cr_2O_3, des gisements de la zone de transition, de 0 à 1 km sous le Moho, qui sont les plus abondants et des gisements stratiformes. Les gisements réfractaires sont associés aux suites magmatiques de type A et les gisements métallurgiques aux suites de type B et C. Cette corrélation implique un contrôle de la nature des gisements par la composition des liquides ophiolitiques qui vont alimenter les chambres magmatiques supra-Moho : les gisements réfractaires dérivant de magmas plus riches en Al_2O_3 et TiO_2 que les gisements métallurgiques. Les premiers seraient situés dans des bassins marginaux péri-continentaux ou inter-arcs et les seconds à proximité immédiate de l'arc insulaire immature.

REFERENCE :

OHNENSTETTER M. - Classification pétrographique et structurale des ophiolites, écho de la dynamique des zones de transition croûte-manteau. Incidence sur la nature et la disposition des corps de chromite associés. C.R. Acad. Sci., sér. D, 301, 1413-1418.

+ CRSCM (GIS BRGM/CNRS), 1A rue de la Férollerie, 45071 Orléans cedex 2

TABLEAU I

Classification pétrographique des ophiolites. Ol, olivine; Opx, orthopyroxène; Cpx, clinopyroxène; Pl, plagioclase; DUN, dunite; TROCT, troctolite; Ol-GAB, gabbro à olivine; GAB, gabbro; Fe-GAB, ferrogabbro; Pl-WEHR, wehrlite plagifère; GN, gabbronorite; Fe-GN, ferrogabbronorite; DR, diorite; CPX, clinopyroxénite; WEBS, webstérite; ORPYR, orthopyroxénite.

	Type I	Type II					
		Suite A		Suite B			Suite C
Liquides	Basaltes riches en TiO_2 (> 1,2 %)	Basaltes riches en TiO_2 (> 1.2 %)		Basaltes pauvres en TiO_2 1.2 % > TiO_2 > 0.6 %			Basaltes très pauvres en TiO_2 (< 0.6 %)
	Ol-Pl-Cpx-Opx	Ol-Pl-Cpx-Opx		Ol-Cpx-Pl-Opx		Ol-Cpx-Opx-Pl	Ol-Opx-Cpx-Pl
	A 1	A 1	A 2	B 1	B 2	B 3	C 3
Cumulats	Fe-GAB GAB Ol-GAB TROCT DUN	Fe-GAB GAB Ol-GAB TROCT DUN	DR Fe-GN GN Ol-GAB TROCT Pl-WEHR DUN	DR Fe-GN Ol-GAB TROCT CPX WEHR DUN	DR GN Ol-GN CPX WEHR DUN	DR GN Ol-GN WEBS CPX WEHR DUN	DR GN WEBS ORPYR DUN
Manteau	Lherzolite appauvrie	Lherzolite appauvrie à Harzburgite					Harzburgite appauvrie à Dunite
		Métasomatisme : Pl + Cpx		Métasomatisme : Cpx			
Exemples	Corse Alpes Apennins	Terre Neuve Long Range Coto Othrys Trinity Sud Oman	Canyon Mountain Coto Oman	Terre Neuve Point Sal Canyon Mountain Trinity Troodos Oman	Vourinos Mings Bight Preston Peak Oman Acoje	Ceinture taurique médiane Troodos Chalkidiki Vourinos Josephine	N[lle] Calédonie Tasmanie Fidalgo Mings Bight Chalkidiki Thetford Vourinos Kellaki

TABLEAU II

Caractéristiques pétrographiques principales des ophiolites et des gisements de chromite associés. La nature des cumulats est indiquée dans le tableau I.

Massifs ophiolitiques de type II	Classe de cumulats A 1	A 2	B 1	B 2	B 3	C	Teneur en TiO_2 des liquides > 1,2	1,2-0,6	< 0,6	Domaine de composition des gisements de chromite (% Cr_2O_3) > 50	60-30	50-40	50-30	Structure diapirique relictueile
Gisements stratiformes :														
Pozanti, Turquie					×					×				
Maqsad, Sud-Oman	×	×											×	
Gisements de la zone de transition :														
Terre Neuve, zone ouest	×		×				×					×	×	
Oman	×	×	×	×			×	×	×		×	×	×	×
Canyon Mountain		×	×				×	×					×	×
Coto, Philippines	×	×					×	×	×				×	
Acoje, Philippines				×				×	×	×				×
Mings Bights, Terre Neuve				×				×					×	– (a)
Point Sal, Californie			×					×	×	×				–
Josephine, Californie					×		×	×	×	×	×			×
Pozanti, Turquie					×		×			×				
Troodos, Chypre			×		×	×		×	×	×	×			×
Vourinos, Grèce				×		×		×	×	×				×
Chalkidiki Grèce					×	×		×	×	×				
Betts Cove, Terre Neuve						×		×	×	×				–
Massif du Sud, N[lle] Calédonie						×			×	×	×			
Gisements profonds intramantellaires :														
Mũgla, Turquie										×	×			
Tiebaghi, N[lle] Calédonie										×	×			×

(a) Peu d'informations existent sur la structure du manteau.

TYPE II
TYPE I
2
3
4a
4b
4a
1
Al
Al
Cr
Al
Cr
Al
Cr
Gisements rares
Sites favorables à la formation des gisements de chromite
Indices rares

RS 2021

Géochimie isotopique des roches basiques et ultrabasiques et des gisements de chromite d'Oman

Isotope geochemistry of Oman mafic-ultramafic rocks and chromite deposits

H.M. DUNLOP
A.M. FOUILLAC

Contrat CEE MC 250

Les analyses isotopiques de l'oxygène, de l'hydrogène, du strontium et du néodyme ont été faites sur les roches basiques et ultrabasiques et sur les gisements de chromite du manteau ainsi que sur la séquence crustale de l'ophiolite d'Oman.

Les compositions isotopiques de l'oxygène obtenues sur les minéraux séparés (phases pures et non altérées) provenant des gisements de chromite, de dunites et de harzburgites tectonisées présentent des valeurs typiquement mantelliques (moyenne des $\delta^{18}O$ = 5.7 ‰ pour l'orthopyroxène, 5.6 ‰ pour le clinopyroxène 5.4 ‰ pour l'olivine et 4.7 ‰ pour le spinelle).

Les fractionnements isotopiques entre ces minéraux sont similaires à ceux observés dans les basaltes lunaires et terrestres, et dans les péridotites alpines. Ils traduisent des équilibres de hautes températures ($950° \leq T \leq 1100°$).

La composition isotopique de l'oxygène des phases primaires est pratiquement identique pour les harzburgites, les dunites et la chromite massive au niveau du manteau et au niveau de la base de la séquence cumulative et il n'y a pas de corrélation entre les $\delta^{18}O$ et la profondeur (jusqu'à 6 km sous le MOHO). Ces résultats montrent que les péridotites et les dépôts de chromite sont en équilibre isotopique et que la formation des chromites s'est faite suivant des processus magmatiques.

La composition isotopique de l'hydrogène a été mesurée sur les inclusions fluides (< 30 µm) contenues dans les gisements de chromite (δD = - 56 à - 79 ‰). Cette gamme de valeurs couvre celle des eaux magmatiques. Les compositions isotopiques des éléments radiogéniques dans la chromitite (ε Nd = + 8.5) et le diopside (ε Nd = + 9.2, $^{87}Sr/^{86}Sr$ = 0.70385) sont compatibles avec ceux obtenus sur la séquence crustale qui les recouvre, et ceux des arcs primitifs et bassins arrière-arc.

Ces résultats sont en accord avec l'hypothèse que l'ophiolite de Samail se soit mise en place dans un contexte de zone de supra-subduction.

Les analyses d'oxygène sur roche totale des harzburgites (moyenne de 14 analyses $\delta^{18}O$ = 6.1 ‰), comparées à la valeur calculée de la harzburgite fraîche ($\delta^{18}O$ = 5.4 ‰ obtenu à partir des $\delta^{18}O$ des minéraux), traduisent l'existence d'une serpentinisation à basse température après mise en place.

Les traces d'une interaction avec de l'eau de mer pendant l'évolution de l'ophiolite dans la zone océanique n'apparaissent pas sur les échantillons situés sous le MOHO.

Des fluides migrants à partir de la lithosphère subductée et se rééquilibrant avec la zone mantellique d'arrière arc peuvent avoir contribué à la cristallisation de la chromite.

REFERENCE

DUNLOP H.M. and FOUILLAC A.M., 1985 - Isotope geochemistry of Oman basic - ultrabasic rocks and chromite deposits. J.I.I.M. "Proceedings of Metallogeny of basic and ultrabasic rocks" Edinburgh.

RS 2022

Variations cryptiques dans les chromitites et les laurites du sill de la rivière des Oiseaux, Manitoba (Canada)

Cryptic compositional variation in laurite and enclosing chromite from the Bird River sill, Manitoba (Canada)

Le sill archéen de la rivière des Oiseaux au Manitoba est un sill différencié de 700 m d'épaisseur évoluant depuis des ultramafites jusqu'aux gabbros. Les zones riches en chromitites qui sont intercalées avec des péri-

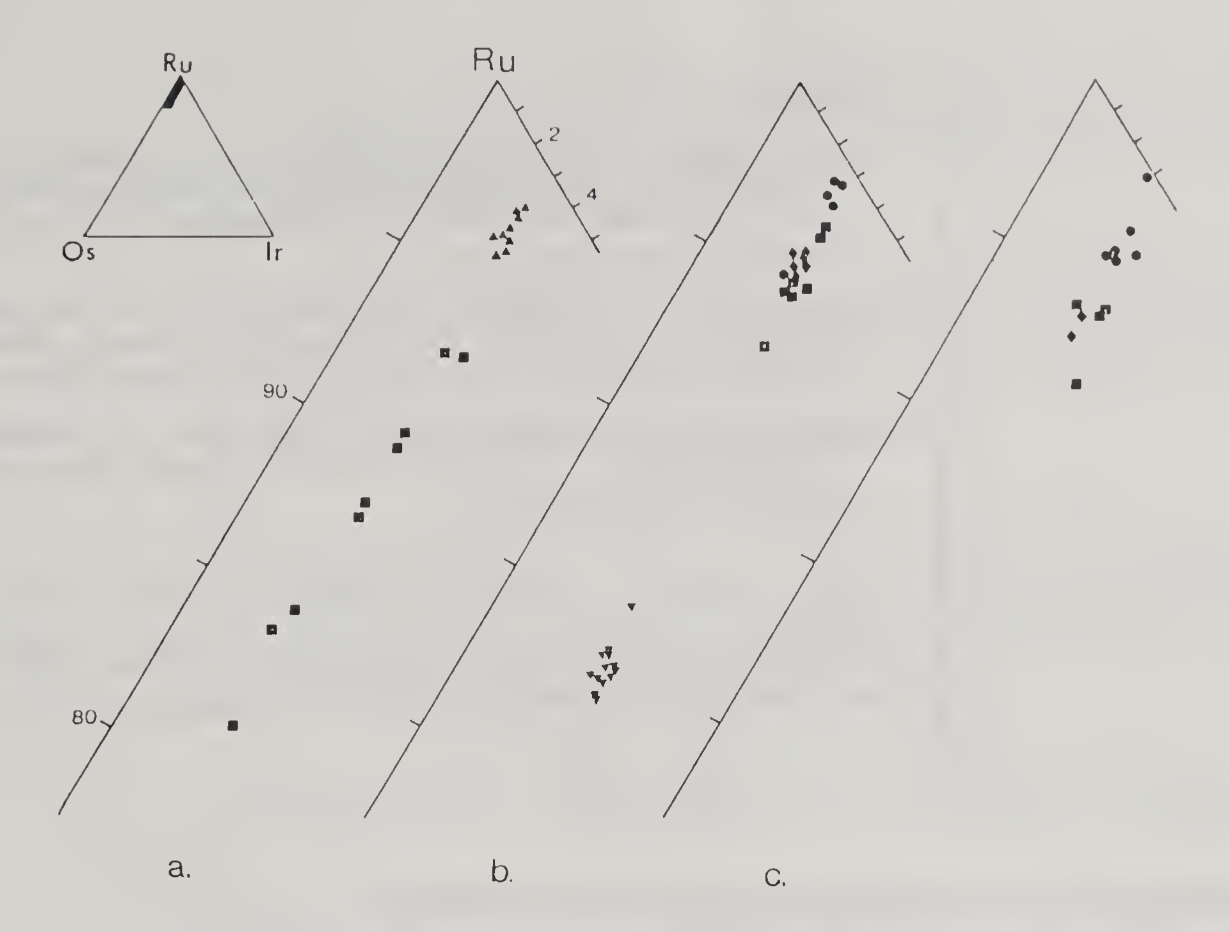


Fig. 1 - Variations Ru → Os dans les laurites des trois cycles du "main seam" du Bird River Sill.

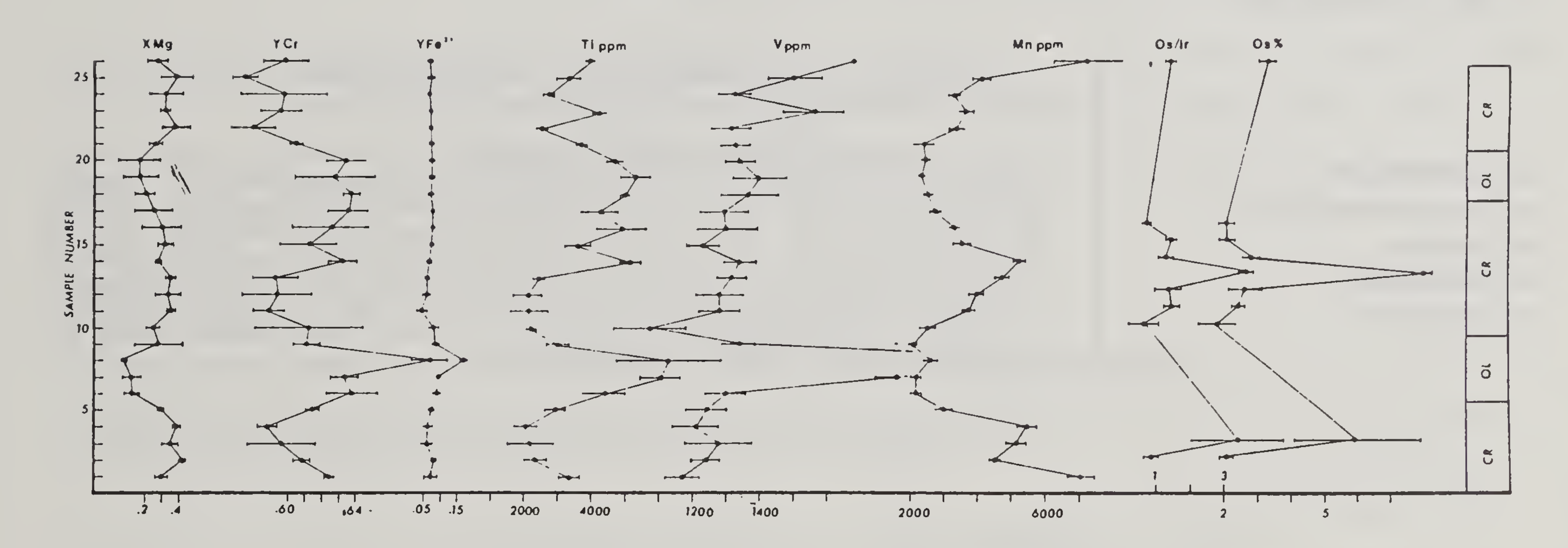


Fig. 2 - Variations en fonction de la succession des unités lithologiques (Cr = chromitite, Ol = péridotite à spinelles disséminées) des rapports XMg, YCr et des teneurs en Ti, V et Mn des spinelles chromifères. L'évolution du rapport Os/Ir et du pourcentage d'Os dans les laurites incluses dans les spinelles est aussi indiquée. (Ohnenstetter et al., 1986).

D. OHNENSTETTER***
D.H. WATKINSON*
P.C. JONES*
R. TALKINGTON**

dotites débutent à 135 m de la base et disparaissent à 2 m de l'unité mafique. Une zone la "main seam" d'une épaisseur de 2,5 m où alternent des niveaux de chromitites et de péridotites a été étudiée en détail. Trois cycles magmatiques ont été mis en évidence grâce aux variations de la composition des laurites et des spinelles qui les renferment.

Les variations des laurites sont illustrées par la substitution Ru → Os (Fig. 1). La composition évolue de $(Ru_{0.96}Ir_{0.03}Os_{0.01})S_2$ à $(Ru_{0.92}Ir_{0.04}Os_{0.16})S_2$. Les spinelles chromifères hôtes présentent des variations des rapports YCr et XMg corrélées à celles du comportement des éléments mineurs Ti, V et Mn en fonction de la stratigraphie (Fig. 2).

La composition des minéraux du groupe du platine apparait corrélée avec celle des chromites hôtes. On en déduit que la précipitation des platinoides n'est pas aléatoire mais peut être reliée à celle de la formation des chromitites.

REFERENCES :

OHNENSTETTER D., WATKINSON D.H., JONES P.C. et TALKINGTON R. (1985) - Cryptic compositional variation in laurite and enclosing chromite from the Bird River sill, Manitoba. Résumé 4e International Platinium Symposium, Toronto, paru dans Can. Mineral., 23, 309.

OHNENSTETTER D., WATKINSON D.H., JONES P.C. et TALKINGTON R. - Cryptic compositional variation in laurite and enclosing chromite from the Bird River sill, Manitoba. Econ. Geol., (1986), sous presse.

OHNENSTETTER D., WATKINSON D.H., JONES P.C. et TALKINGTON R. (1986) - Variations du Sill de la rivière des Oiseaux, Manitoba (Canada). 11è RST Clermont-Ferrand, 139.

* Ottawa Carleton Centre for Geoscience Studies OTTAWA K15 5B6 Ontario, Canada.
** Department of Geology Stockton State College, POMONA New Jersey USA.
+++ CRSCM (GIS BRGM/CNRS), 1A rue de la Férollerie, 45071 Orléans cedex 2

RS 2023

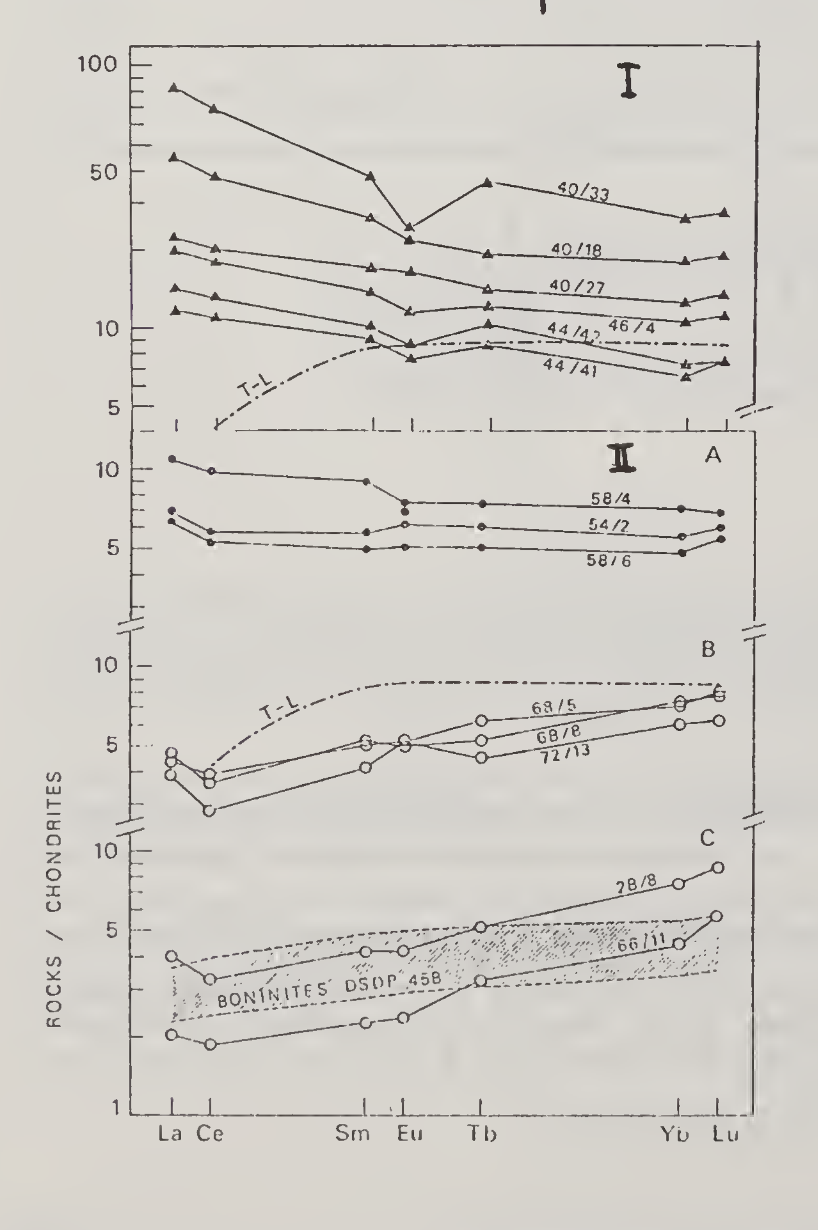
Variation géochimique le long de la ride dans les ophiolites de Chalcidique, Grèce : une approche utilisant la méthode inverse

Along-ridge variations in the Chalkidiki ophiolites, Northern Greece: an approach using the inverse method

J.L. BODINIER*
M. OHNENSTETTER***
R. BAYER*
A. GAUTHIER**
R. DUBOIS***

- La province de Chalcidique dans les Hellenides Internes en Grèce est constituée de plusieurs provinces pétrologiques et structurales.

- Dans la province de Tessalonique-Métamorphosis (T.M.) qui est la plus septentrionale, où les péridotites mantelliques et les cumulats dominent, l'orthopyroxène apparait de plus en plus précocement dans les séquences de cumulats du Nord vers le Sud. Les liquides associés (groupe A à C) deviennent de plus en plus saturés vers le Sud (tholéite à quartz et andésite magnésienne) et de plus en plus appauvris en alumine et éléments incompatibles. L'apprauvissement en Terres Rares est progressif des groupes A à C, les laves des groupes B et C devenant particulièrement appauvries en terres rares légères comme les boninites du site 458 de l'arc des Mariannes.



Legende

Répartition des terres rares dans les différents groupes de laves et de roches hypabyssales. I. Province de Sithonia. T.L. : limite séparant à Chypre les laves de la séquence axiale et les laves supérieures d'après Smewing et Potts (1976). II. Province de Thessalonique-Metamorphosis avec trois groupes majeurs de laves et de filons A, B et C. Le champ des boninites du site 458 (forage (DSDP) dans l'arc des Mariannes est pris d'après Hickey et Frey (1982).

Dans la province de Sithonia-Kassandra (S.K.), les gabbros sont intrusifs dans les sédiments. Les dolérites massives, le complexe filonien et les laves ressemblent étroitement aux tholéites abyssales ou aux laves des ophiolites de type I. Toutefois, l'enrichissement en Th, Rb et K témoigne d'une contamination crustale.

L'existence des différents groupes de laves a été confirmée par des calculs pétrogénétiques utilisant la méthode inverse. Deux types principaux de séquences de cumulats ont été mis en évidence à partir d'un modèle de cristallisation fractionnée. Le fractionnement des pyroxènes est important dans le magmatisme de type arc-insulaire immature (province TM) tandis que l'olivine et le plagioclase ont une influence dominante sur le magmatisme de type tholéites abyssales dans la province S.K.

L'hétérogénéité minéralogique et géochimique des sources mantelliques est mise en évidence entre les provinces TM et SK, les deux types de source ayant subi des taux de fusion voisins pour donner les différents groupes de laves. Le manteau de la province de SK n'a pas été appauvri. Au contraire, celui de la province TM a subi un appauvrissement antérieurement au magmatisme ophiolitique qui a été suivi d'un épisode d'enrichissement sélectif lié au fonctionnement d'une zone de subduction.

Les variations spatiales et temporelles tant d'un point de vue pétrographique que géochimique sont expliquées par un processus d'ouverture oblique dans une croûte continentale derrière une zone de subduction.

REFERENCE :

BODINIER J.L., OHNENSTETTER M., BAYER R., GAUTHIER A. et DUBOIS R. - Along ridge geochemical variations in the Chalkidiki ophiolites, Northern Greece : an approach using the inverse method. Accepté dans Geochim. Cosmochim. Acta.

* Centre Géologique et Géophysique, U.S.T.L., place E. Bataillon, 34060 Montpellier
** Département de Géologie Dynamique, Université Pierre et Marie Curie, place Jussieu, 75230 Paris.
+++ CRSCM (GIS BRGM/CNRS), 1A rue de la Férollerie, 45071 Orléans cedex 2

RS 2024

Manteaux ophiolitiques et leur évolution : contraintes cristallochimiques

Ophiolitic mantle sequences and their evolution: mineral chemistry constraints

Z. JOHAN*
T. AUGE*

Action concertée C.E.E. : MSM 038 F.

L'étude comparative des séquences mantelliques ophiolitiques des complexes du Vourinos (Grèce), de Tiébaghi (Nouvelle-Calédonie) et du nord d'Oman a révélé d'importantes variations lithologiques et chimiques. A la différence des complexes du Vourinos et d'Oman, où le manteau est constitué de harzburgites contenant des corps dunitiques, le massif de Tiébaghi présente une séquence complexe de : harzburgites, dunites, harzburgites riches en clinopyroxène, lherzolites à spinelle et lherzolites à plagioclase.

Dans toutes ces séquences étudiées, la composition du spinelle, caractérisée par une large variation du rapport Cr/Al, est contrôlée par la teneur en Al des pyroxènes. Le nombre d'atomes de Cr et Al sur les sites octaédriques de la structure du pyroxène est inversement proportionnel à la concentration en Cr dans le spinelle.

Les courbes d'équilibre Al_{sp}-Al_{opx} et Al_{sp}-Al_{cpx} (fig. 1 et 2), qui peuvent être décrites par des équations exponentielles modifiées, montrent que le coefficient de partage de Al entre ortho- et clinopyroxène varie de 1 environ, la composition du spinelle coexistant étant $10 < (Al)_{sp} < 40$, jusqu'à 1,3 dans le cas des associations riches en Al, où la composition du spinelle correspond à $40 < (Al)_{sp} < 60$. Les spinelles et pyroxènes coexistants provenant des nodules lherzolitiques de haute pression se situent sur les mêmes courbes d'équilibre.

L'ordre d'apparition des complexes étudiés sur ces courbes (fig. 1 et 2) suggère que l'abaissement des concentrations en Na et Al dans le système pourrait être relié à l'accroissement du taux de fusion partielle du manteau. Ainsi, la fusion peut être assimilée à un processus continu contrôlé par l'évolution des solutions solides des pyroxènes et du spinelle chromifère. En

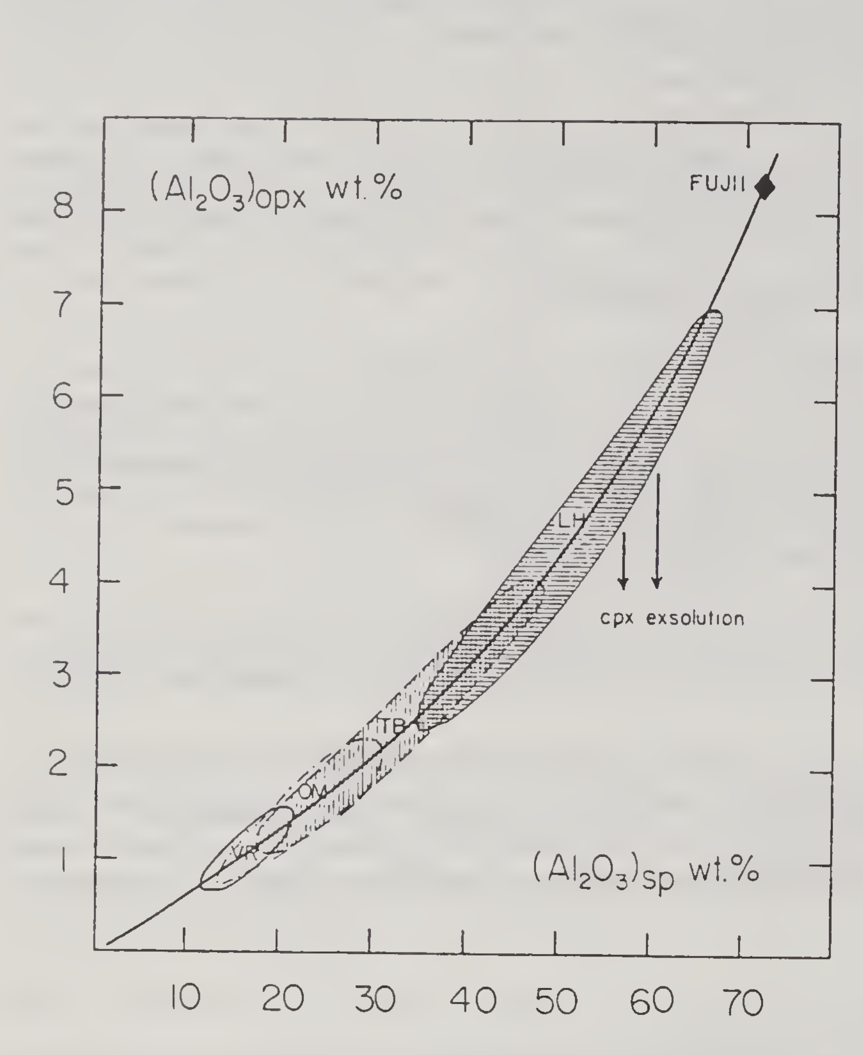


FIG. 1 - Distribution de Al_2O_3 entre orthopyroxène et spinelle des harzburgites et lherzolites mantelliques du Vourinos (VR), d'Oman (OM) et de Tiébaghi (TB). LH : champ des nodules de lherzolite de haute pression.

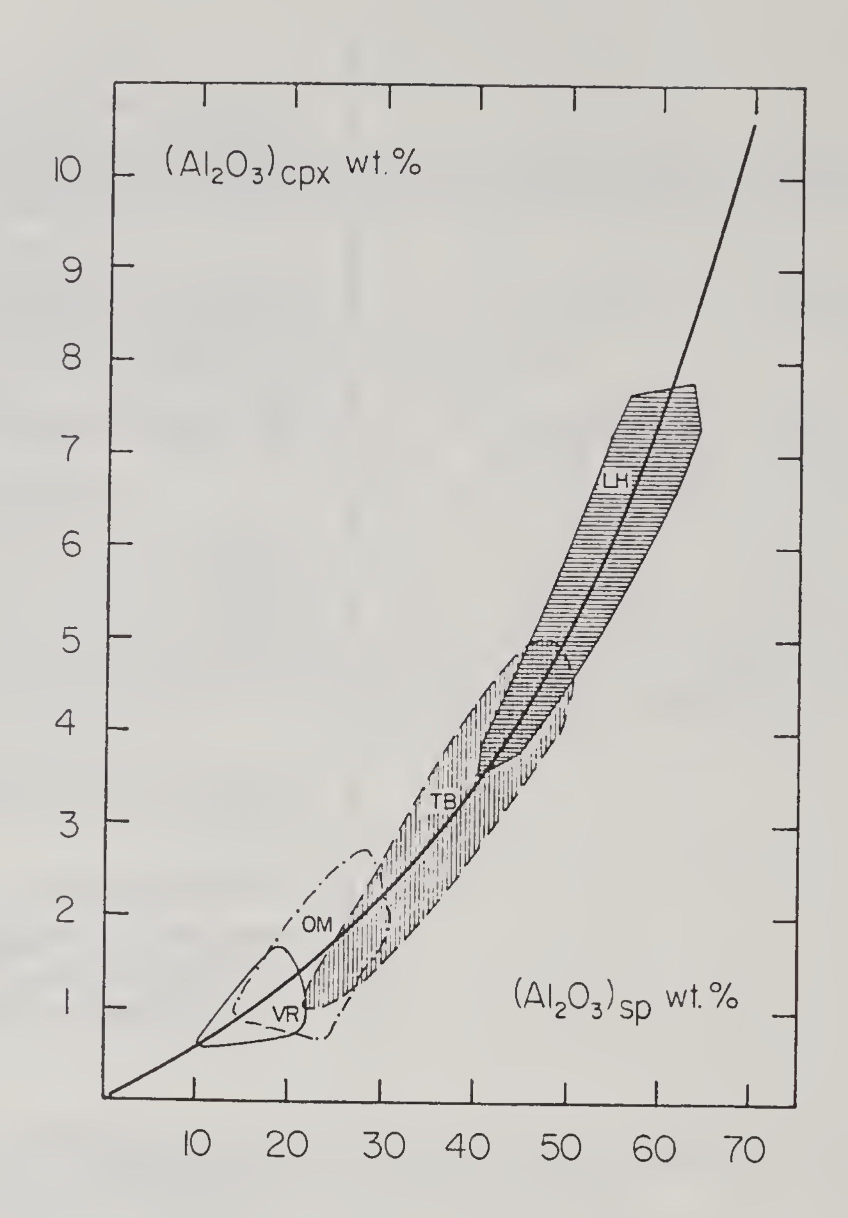


FIG.2 - Distribution de Al_2O_3 entre clinopyroxene et spinelle des harzburgites et lherzolites mantelliques.

accord avec les données expérimentales, la teneur en Fo de l'olivine augmente des lherzolites (91 % mol.) aux harzburgites (92 % mol.). NiO croît corrélativement de 0,3 à 0,4 % environ. Quant aux pyroxènes, leurs teneurs en Al^{IV}, Al^{VI} , Ti et Na diminuent avec l'accroissement du taux de fusion.

En tenant compte de ces variations, le manteau du complexe du Vourinos paraît le plus appauvri, alors que celui de Tiébaghi représente, au contraire, un manteau peu appauvri. L'étude de l'équilibre entre pyroxènes et spinelle permet de distinguer les assemblages résultant de la fusion partielle d'une part et ceux issus de la cristallisation d'un liquide magmatique, d'autre part. Cette discrimination permet de mettre en évidence une imprégnation magmatique affectant éventuellement la séquence mantellique.

Le fait que les corps de chromitite soient présents dans tous ces complexes indique que leur genèse est indépendante du degré de fusion partielle subie par le manteau dans lequel ils se sont mis en place.

Cette étude a été effectuée dans le cadre du contrat de recherche de la C.E.E. "Gisements de chromite ophiolitique".

REFERENCE :

JOHAN Z. et AUGE T. (1986) - Ophiolitic mantle sequences and their evolution : mineral chemistry constraints. Trans. Inst. Mining Metall., sous presse.

+ CRSCM (GIS BRGM/CNRS), 1A rue de la Férollerie, 45071 Orléans cedex 2

RS 2025

Chromitites et minéraux du groupe du platine dans les complexes ophiolitiques

Chromitites and platinum group minerals in ophiolitic complexes

T. AUGE*

Action concertée C.E.E. : MSM 023 F.

Les chromitites dans les complexes ophiolitiques se situent dans les séries mantelliques résiduelles et, dans certains cas, à la base des séries cumulatives. Cette étude axée sur les complexes de Sémail (Oman), du Vourinos (Grèce) et de Tiébaghi et Kaala (Nouvelle-Calédonie) a permis de mettre en évidence des différences importantes au niveau des séries mantelliques. Pour les harzburgites, ces différences concernent la proportion des clinopyroxènes et des amphiboles, le rapport Cr/Al des spinelles et les teneurs en Al_2O_3 (et autres éléments mineurs) des pyroxènes. La corrélation entre la teneur en Al du spinelle et des pyroxènes coexistants a permis de mesurer le caractère réfractaire d'un massif. La complexité de Tiébaghi où coexistent harzburgites et lherzolites (avec des minéraux de composition analogue) s'oppose à la relative homogénéité des autres complexes.

Les chromitites des complexes de Tiébaghi, du Vourinos et d'Oman présentent également des différences caractéristiques. Elles concernent tant la composition des spinelles que la nature des silicates interstitiels et des inclusions ou encore la texture des minerais. Pour Tiébaghi et le Vourinos, la composition des spinelles des minerais est la même et est très constante sur l'ensemble des massifs. Les minerais sont du type riche en Cr_2O_3. Dans le complexe de Sémail, les trois types de gisements distingués (profonds dans la séquence mantellique, de son sommet ou bien de la base des cumulats) ont des compositions caractéristiques. Leurs minerais demeurent plus alumineux que ceux des autres massifs.

Le modèle proposé pour la formation des gisements de chromite est une accumulation horizontale de cristaux de chromite dans des chambres intramantelliques (et à la base des cumulats) alimentées de manière permanente (par opposition aux chambres donnant naissance aux dunites stériles) où le liquide résiduel, après le dépôt d'olivine et de chromite, sera chassé. Ainsi un gisement pourra se former à partir d'un volume relativement limité de liquide, la cristallisation de la chromite étant une étape normale dans le fractionnement (induite par exemple par une chute de température ou une augmentation de la fugacité d'oxygène ou encore sous l'effet du mélange de deux liquides). Les différences qui apparaissent entre les chromitites de Tiébaghi et du Vourinos d'une part et de Sémail d'autre part sont essentiellement dues à la composition des liquides.

Les minéraux du groupe du platine (PGM) sont, dans les complexes ophiolitiques, essentiellement dans les niveaux chromifères sous forme d'inclusions dans les spinelles. Ce sont des alliages, des sulfures ou des sulfo-arséniures d'Os, Ir et Ru ; Pt, Pd et Rh se trouvent en mineurs dans certains PGM. Parmi les ophiolites étudiées, on distingue un complexe à laurites uniquement (S. Oman), un complexe à sulfures variés (Tiébaghi), un complexe où coexistent alliages et sulfures (Vourinos). Le Nord Oman se distingue par l'absence de PGM. Les raisons de la diversité de cette distribution ont été attribuées aux conditions de cristallisation des PGM (T, fS2) et également aux teneurs initiales en éléments du groupe du platine (PGE) des magmas.

La découverte de PGM inclus dans les spinelles de tous les types de dunite distingués, PGM analogues à ceux que l'on trouve dans les chromitites des mêmes complexes, scelle le lien entre chromitite et dunite en confirmant qu'elles ont cristallisé à partir d'un même magma dans des conditions analogues. Ainsi le relatif enrichissement en PGM des chromitites s'intègre dans le processus de concentration de la chromite elle-même : dans un magma primitif cristallisent d'abord les PGM puis la chromite (environ 0,3 % en poids) qui les englobe parce qu'ils jouent le rôle de germe, ceci dans les poches de magma intramantelliques. Dans la séquence de cristallisation normale apparait ensuite l'olivine. Si le magma résiduel est chassé, on aura alors formé une dunite dont les spinelles contiennent des PGM. Si la chromite se concentre, on formera des chromitites nécessairement riches en PGM. Ainsi la chromite joue le rôle de collecteur mécanique des PGM.

La découverte de sulfures de métaux de base (BMS) d'origine magmatique contenant des éléments du groupe du platine en solution solide est également un point important. La répartition des PGE dans ces BMS (Pd, Rh et Ru essentiellement) diffère de celle que l'on trouve dans les PGM des ophiolites mais est comparable à celle des PGM associés aux BMS des complexes stratiformes. Ces sulfures jouent ici le rôle de collecteur chimique des PGE. Le relatif appauvrissement en Pt, Pd et Rh des milieux ophiolitiques s'explique par le fait que l'épisode collecteur de ces éléments dans les complexes stratiformes, c'est-à-dire la formation d'un liquide sulfuré par immiscibilité, manque (ou est très mineur).

REFERENCE

AUGE T. (1985) - Chromitites et minéraux du groupe du platine dans les complexes ophiolitiques. Caractérisation des séries hôtes. Thèse de Doctorat d'Etat, Orléans.

+ CRSCM (GIS BRGM/CNRS), 1A rue de la Férollerie, 45071 Orléans cedex 2

RS 2026

Inclusions des minéraux du groupe du platine dans les chromitites de différents complexes ophiolitiques

Mineralogy of platinum-group-mineral inclusions in chromitites from different ophiolitic complexes

O. LEGENDRE
T. AUGE*

Des découvertes sporadiques de minéraux du groupe du platine (PGM) dans ou en liaison avec des chromitites ophiolitiques nous ont conduits à une recherche systématique de ces minéraux dans des chromites massives de complexes ophiolitiques d'âge et de condition de mise en place différents (Legendre et Augé, 1986). Dix complexes ont ainsi été étudiés : Tiébaghi et Massif du Sud (Nouvelle Calédonie), Troodos (Chypre), Vourinos (Grèce), Al Ays (Arabie Saoudite), Asteroussia (Crète), Güleman (Turquie E.), Fethyie (Turquie S.W.), Theken (Albanie) et Chamrousse (France). La paragenèse des PGM dans ces chromitites est assez restreinte comparée au grand nombre d'espèces reconnues par ailleurs (complexes stratifiés, alaskéens...), seulement treize espèces ont été rencontrées : six alliages, cinq sulfures et deux sulfo-arseniures (tableau ci-contre). Tous ces minéraux ont été observés en inclusions généralement automorphes (parfois biphasées) dans les cristaux de chromite des chromitites. Les analyses à la microsonde électronique indiquent un fort enrichissement en Os + Ir + Ru par rapport à Rh + Pd + Pt ; une tendance identique se dégage des analyses de chromitites en roche totale, ceci laisse supposer que les éléments du groupe du platine (PGE) sont dans ce type d'environnement, entièrement exprimés sous forme de minéraux propres.

	TIEBAGHI	MASSIF DU SUD	TROODOS	VOURINOS	AL AYS	ASTEROUSSIA	GULEMAN	FETHYIE	TIEKEN	CHAMROUSSE
RUTHENIRIOOSMINE (Os,Ir,Ru)		●		●	●		●			
IRIOOSMINE (Os,Ir)				●			●			
RUTHENIAN OSMIUM (Os,Ru)		●								
RUTHENOSMIRIDIUM (Ir,Os,Ru)							●			
OSMIRIDIUM (Ir,Os)		●		●						
LAURITE (RuS_2)	●	●	●	●	●	●		●	●	●
ERLICHMANITE (OsS_2)	●									
XINGZHONGITE (Ir,Cu)S	●									
$(Ir,Cu,Rh)_2S_3$	●									
(PtS)			●							
OSARSITE (OsAsS)				●						
IRARSITE (IrAsS)				●						
PGE-BEARING NI ALLOY		●			●					

La cristallisation d'un alliage ou d'un sulfure est contrôlée par la fS_2. De celle-ci dépend aussi la composition des laurites (les laurites cristallisant sous fS_2 élevée seront enrichies en Os + Ir, aux dépens de Ru). La composition des PGM dépend aussi du rapport Os + Ru + Ir du milieu. Ce rapport semble être le seul facteur influençant la composition des alliages.

Il ne semble pas exister de relation entre la présence ou la composition des PGM et la texture ou la composition des chromites ou quelque autre caractéristique des complexes étudiés. Il semble cependant exister une certaine spécificité des complexes concernant leur composition en PGM, par exemple, en Nouvelle Calédonie, le Massif du Sud ne renferme que des alliages, alors que l'on ne rencontre que des sulfures dans le massif de Tiébaghi ; à l'opposé dans le massif du Vourinos, on rencontre alliages et sulfures. Ces variations dans la minéralogie, si elles semblent liées à la fS_2, à la température et au contenu en PGE du magma, ne sont pas parfaitement comprises.

L'association PGM-chromite est interprétée comme étant le résultat d'une cristallisation très précoce des alliages et/ou des sulfures, les PGM présents dans l'horizon de cristallisation de la chromite, sont simplement piégés par celle-ci.

Une comparaison avec les chromites cumulatives de complexes stratiformes (Merensky Reef - Bushveld) et du complexe de Stillwater) montre qu'un même mécanisme semble applicable au moins dans les stades précoces de la cristallisation magmatique des complexes stratiformes, la laurite étant le seul PGM inclus dans les chromites, tous les autres PGM (en particulier à Pt, Pd et Rh) étant en position interstitielle dans ces couches de chromites.

REFERENCE

LEGENDRE O. and AUGE T., 1986 - Mineralogy of platinum-group-mineral inclusions in chromitites from different ophiolitic complexes. Trans. Instit. of Mining and Metall. spec. issue on the metallogeny of basic and ultrabasic rocks (in press).

+ CRSCM (GIS BRGM/CNRS), 1A rue de la Férollerie, 45071 Orléans cedex 2

RS 2027

Distribution des éléments de la mine du platine dans les chromites massives et disséminées du complexe ophiolitique du Vourinos

Platinum group element distribution in massive and disseminated chromites from the Vourinos ophiolitic complex

A. COCHERIE*
T. AUGE*
G. MEYER**

Action concertée C.E.E. : MSM 023 F.

Sept éléments ont été dosés (Os, Ir, Ru, Pd, Pt, Au et Ag) dans huit échantillons de spinelles purifiés appartenant à des chromitites, des dunites et une harzburgite du complexe ophiolitique du Vourinos. Le dosage a été effectué par activation neutronique (COCHERIE et al., 1986).

Les quatre échantillons issus des chromitites présentent la même distribution (fig. 1) avec un net enrichissement en Os, Ir et Ru par rapport à Pd et Pt (68 < Ru < 122 ppb ; Pd < 5 ppb). Les teneurs en Au sont faibles (3 à 12 ppb) mais conduisent cependant à un enrichissement des teneurs normalisées par rapport à celles de Pd et Pt. Les trois spinelles des dunites présentent des profils relativement différents : - G47 est enrichi en Ir et Os, il contient en effet des iridosmines ; - G284 est enrichi en Ru et ne contient que des laurites ; - enfin, G98 est très enrichi en éléments de la mine du platine (E.M.P.) puisque son total est proche de 1 ppm, contrairement aux précédents il contient Pt (121 ppb), Pd (69 ppb) et Au (142 ppb). Cet enrichissement traduit l'abondance des phases qui ont été trouvées (laurite, iridosmine et sulfures de métaux de base contenant Ru et Pd en solution solide). Le spinelle de la hazburgite quant à lui contient autant d'E.M.P. que ceux de certaines dunites avec même un léger enrichissement en Pt et Pd, alors qu'aucun minéral du groupe du platine (M.G.P.) n'y a été trouvé.

On retiendra donc les points suivants :
1. Les profils obtenus pour les chromitites confirment nos observations minéralogiques. Dans ces cas la représentativité de

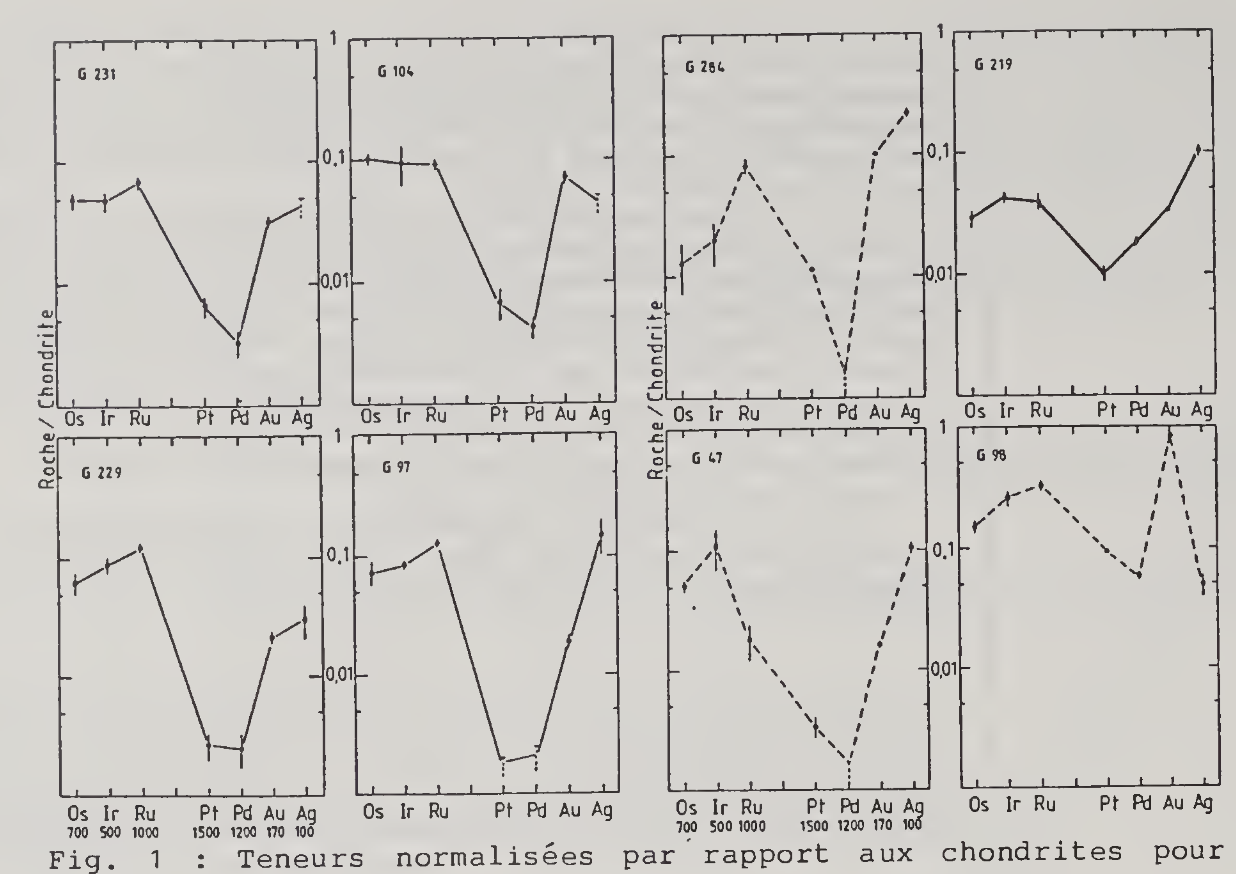


Fig. 1 : Teneurs normalisées par rapport aux chondrites pour divers types de spinelles :
- spinelles de chromitites : G231, G104, G229, G97.
- spinelles de dunites : G284, G47, G98.
- spinelles de harzburgites : G219.

l'analyse chimique et de l'approche minéralogique est donc confirmée, l'enrichissement en Ru, Ir et Os s'expliquant par la présence de laurite (dominante) et d'alliages Os-Ir. Toutefois un échantillon dans lequel aucun M.G.P. n'avait été trouvé (G104) à des teneurs comparables aux autres.

2. Dans tous les cas on a un appauvrissement des teneurs en Pt et Pd par rapport à Os, Ir et Ru : ce type de distribution est caractéristique des roches associées aux cortèges ophiolitiques, par opposition à la distribution de ces mêmes éléments dans les complexes stratiformes (NALDRETT et DUKE, 1980).

3.Les teneurs en E.M.P. des spinelles disséminés ne sont pas inférieures à celles des spinelles de chromitites. On peut donc penser que des processus géochimiques identiques ont été mis en jeu dans les deux cas et que seule une ségrégation mécanique des spinelles ayant piégé des M.G.P. a pu conduire à la formation des concentrations de chromite.

4. L'analogie ainsi démontrée entre spinelles de dunites et chromitites confirme l'origine magmatique des dunites. Cependant, le profil obtenu pour la harzburgite pose le problème du comportement de ces éléments lors de la fusion partielle.

REFERENCES :

COCHERIE A., VOLFINGER M. et MEYER G. (1986) - Determination of the noble metals in chromites and other geological materials by radiochemical neutron activation analysis. Modern Trends in Activation Analysis, Copenhague June 23-27, 10 p.

NALDRETT A.J. and DUKE J.M. (1980) - Platinum metals in magmatic sulfide ores. Nature, 208, 1417-1424.

* GIS (CNRS-BRGM) 1A, rue de la Férollerie, 45071 ORLEANS CEDEX 02
** Laboratoire P. Süe, CEN SACLAY, B.P. n° 2, 91190 GIF-SUR-YVETTE.

Gîtes de couverture

RS 2028

Contexte structural des minéralisations à Fe-Pb-Zn de la Croix de Pallières (Gard, France)

Structural context of the Croix de Pallières Pb-Zn ore deposits (Gard Dept., France)

D. BONIJOLY

ACTION CONCERTEE CCE-MSM 041F - Indicateurs pétrographiques et géochimiques des gîtes cachés

Les minéralisations de la Croix de Pallières ainsi que les indices de même type disposés le long du horst de Pallières (bordure cévenole, entre Alès et Durfort, Gard) s'intègrent dans un contexte structural particulier.

Elles sont toutes situées à proximité de failles NNE-SSW (et particulièrement la faille occidentale du horst de Pallières dénommée faille "dyke") dont l'activité est complexe et polyphasée.

Du Trias supérieur au Lotharingien supérieur, l'activité tectonique de ce horst est contrôlée par une distension WNW-ESE. L'influence de cette activité sur la sédimentation est remarquable (slumps, coulées boueuses). La faille occidentale du horst, par endroit minéralisée par des sulfates, correspond à la limite tectonique d'un bloc basculé qui s'intègre parfaitement dans le cadre d'une marge passive en bordure d'un rift en formation (rift téthysien , boillot et al, 1984).

Postérieurement au Lotharingien et probablement avant le Jurassique supérieur, le régime des contraintes reste constant. Lors de cette période, deux manifestations sont individualisées :

- la première s'exprime par la silicification du plan principal du horst et par l'individualisation d'un plan de faille à son toit. Cette silicification accompagnée de sulfures épigénise les sulfates précédemment déposés dans la faille principale (quartz haché). Elle diffuse soit dans l'éponte sédimentaire ; elle est alors responsable par endroit de minéralisations importantes telle celle de la Croix de Pallières, soit par de petites failles annexes (La Baraque),
- la seconde est associée à une réouverture de la faille silicifiée. Ainsi se créent des fentes à quartz limpide à boxwerks rhomboédriques (ankérite ?).

On confirme ainsi une idée déjà admise de l'origine épigénique des minéralisations présentes dans cette région (Aubague et al, 1982 ; Sureau et al, 1984).

Les épisodes tectoniques postérieurs à ces évènements sont également postérieurs à la minéralisation principale. Les failles qu'ils créent, recoupent et décalent la silicification des failles NNE-SSW. Il s'agit de la distension NNE-SSW mésozoïque qui remobilise en partie la minéralisation précédente (Jurassique supérieur à Crétacé ?), des compressions N-S et NE-SW pyrénéennes et de la distension oligocène N-S.

L'existence de failles synsédimentaires apparaît donc comme un facteur déterminant. Elles constituent en effet, à l'époque envisagée pour la minéralisation, les seuls drains précoces affectant le matériel triasique et liasique, et dont l'activité tectonique constante favorise l'augmentation de perméabilité nécessaire à la circulation des fluides durant le Jurassique inférieur et moyen.

REFERENCES

AUBAGUE M., L'HOMER A., SUREAU J.F. (1982) : Recherche de guides de prospection pour les gîtes Pb-Zn liés aux strates et environnement dolomitique. Chronique de la Recherche Minière n° 466, pp. 41-59.

BOILLOT G., MONTADERT L., LEMOINE M., BIJU-DUVAL B. (1984) : Les marges continentales actuelles et fossiles autour de la France. Ed. Masson.

BONIJOLY D. (1985) : Etude structurale de la bordure occidentale du horst de Pallières (Gard). Caractérisation du contexte structural des minéralisations à Fe-Pb-Zn. Rapport BRGM n° 85 SGN 530 GEO.

SUREAU J.F., AUBAGUE M., LENINDRE Y.M., L'HOMER A. (1984) : A case of complex diagenesis of thermal events in dolomitic series : the Pb-Zn ore deposits of the Croix de Pallières. Thermal phenomena in sedimentary basins. B. DURAND. IFP ed. n° 41, pp. 319-386

RS 2029

Les minéralisations Pb-Zn de Montagne Noire et leurs relations avec leur encaissant cambrien carbonaté, sur quelques exemples du versant nord (La Rabasse, Brusque, Lardenas, Peux, Les Comtes) et du versant sud (Bibaud - Tête Rousse)

Montagne Noire (South Massif central, France) Pb-Zn mineralisation, relations with cambrian carbonate host-rocks: some typical occurrences from the Northern (La Rabasse, Brusque, Lardenas, Peux, Les Comtes) and Southern slopes (Bibaud - Tête Rousse)

J.L. LESCUYER
D. GIOT
M. DONNOT
P. BEZIAT

Action concertée CEE n° MSM 130 F (RS) associant le BRGM et les universités de Toulouse et de Cagliari (Sardaigne).

L'étude d'une sélection d'indices et de gîtes plombo-zincifères de Montagne Noire, couplée à l'analyse sédimentologique des séries carbonatées cambriennes encaissantes, permet une interprétation nouvelle concernant la chronologie et le mode de mise en place des minéralisations.

* Ces travaux confirment tout d'abord l'existence de concentrations plombo-zincifères précoces en Montagne Noire (âge cambrien probable), de types variés suivant l'environnement paléogéographique :

. Dans les nappes du versant sud (P. COURJAULT-RADE, 1978), caractérisées par le développement au Cambrien d'une plate-forme carbonatée, les nombreuses occurrences se localisent au niveau de ruptures sédimentaires et s'accompagnent généralement d'une dolomitisation des séries encaissantes (minéralisations de type "Mississipi Valley").

Ainsi, dans l'exemple de Bibaud - Tête Rousse (Minervois), les dolomies algaires du sommet de la séquence régressive du Cambrien inférieur et surtout les calcaires probablement turbiditiques de la base de la séquence transgressive, plus ou moins discordante, du Cambrien moyen ont subi, sur plusieurs kilomètres d'extension, une dolomitisation accompagnée d'une minéralisation disséminée en galène, blende et rare barytine, et d'une silicification partielle. La mise en place de la minéralisation stratiforme est considérée comme diagénétique syncambrienne. Aux mouvements compressifs hercyniens et distensifs triasico-liasiques, sont rapportés d'autres épisodes de dolomitisation - silicification avec remobilisations des sulfures.

. Dans le versant nord, la série carbonatée ou schisto-carbonatée ("série noire") montre une forte concentration d'indices stratiformes disséminés à Zn dominant, dont l'origine est supposée hydrothermale sédimentaire.

Les sédiments encaissants correspondant aux domaines marins de la plate-forme externe et de la bordure du bassin se sont déposés dans des conditions tectoniques actives inductrices de forte subsidence. Un volcanisme contemporain a été décelé.

A l'inverse, sur la plate-forme carbonatée bordant le bassin, malgré des conditions sédimentaires supralittorales pré-évaporitiques et la présence de réservoirs poreux représentant des pièges potentiels, il n'existe aucune trace de préconcentration synsédimentaire ou de diagenèse précoce. La Montagne Noire, tout au moins sur son versant nord, semble donc se distinguer nettement du modèle sarde où il est admis une corrélation entre préconcentrations et milieu de plate-forme interne (M. BONI, 1985).

Les séries noires ont été principalement étudiées dans le sillon paléogéographique de Brusque (M. DONNOT et P. MILESI, 1982) et, pour le domaine marin franchement ouvert, dans les unités développées au Nord de la ride du Merdelou. Un simple rappel est donné concernant la zone à l'Ouest de Lacaune (Saint-Salvy, La Loubatière). Le caractère nettement anté-hercynien des concentrations a pu être démontré pour le gîte de Brusque et les indices de Lardenas. Ces minéralisations à zinc dominant, teneurs variables en Pb, traces de Sn et Bi, avec parfois Cu et Sb, se mettent souvent en place au contact entre calcaires ou calcschistes de plate-forme externe et shales ampéliteux de bassin confiné. Aucune dolomitisation ne les accompagne, que les sulfures soient disséminés (Lardenas) ou en lentilles massives (Brusque, La Loubatière). Les minéraux accompagnateurs sont peu variés : silice, parfois barytine et traces de fluorine. L'intensité des déformations hercyniennes ayant effacé les structures initiales et souvent provoqué d'importantes recristallisations, l'hypothèse hydrothermale sédimentaire ne peut être envisagée qu'avec prudence.

* D'un type très différent apparaît le gisement de La Rabasse, l'une des plus grosses concentrations plombo-zincifères de la Montagne Noire (environ 100 000 tonnes - métal). L'étude de la puissante séquence carbonatée d'âge cambrien inférieur (dépôts dolomitisés de plate-forme interne et de barrière), qui contient en son sommet les amas minéralisés, permet en effet d'écarter l'hypothèse d'un phénomène minéralisateur anté-hercynien pour privilégier un modèle de type "amas de substitution" en liaison avec le magmatisme calco-alcalin tardi-hercynien.

A l'échelle régionale, la mise en place des minéralisations polymétalliques complexes, sans doute guidée par une fracturation sub-méridienne contemporaine de l'hydrothermalisme tardi-magmatique, s'est effectuée en plusieurs pulsations, par colmatage de fissures (exemple du gîte d'antimoine du Bournac, non étudié ici), imprégnation aux épontes de sills rhyolithiques (indices de Fontserenne et du Mathet) et surtout substitution de carbonates : "colonnes" de sulfures massifs, parfois riches en métaux précieux, de la mine de La Rabasse au mur de sills rhyolithiques injectés dans le contact entre dolomies du Cambrien inférieur et schistes du Cambrien moyen. Toutes ces minéralisations se localisent à l'intérieur d'une auréole de 800 m de large autour de l'intrusion subvolcanique du Faulat (290 MA) et montrent une évolution paragénétique comparable : 1) mispickel-pyrrhotite - pyrite ; 2) blende ferrifère et traces de minéraux d'étain ; 3) galène et sulfosels variés post-fracturation ; 4) stibine (au Bournac uniquement - M. MUNOZ, 1981).

* Une fracturation tardive à quartz, barytine et cuivre gris argentifère dans le secteur de La Rabasse (filon de Maynes par exemple) est clairement associée aux dolomitisations - silicifications de la base du Trias transgressif (J. M. ROUCHY, 1973) ; elle est liée à des mouvements distensifs (d'âge liasique ?) le long de la bordure sud-ouest du golfe des Causses mais non accompagnée ici d'une métallogenèse active à Pb-Zn.

REFERENCE

-DONNOT M., MILESI J.P. (1982) .- Action concertée BRGM/CEE n° 007-79-7 : Minéralisations polymétalliques Cu - Pb - Zn du Paléozoïque français .- rapport BRGM n° 82 SGN 840 GMX.

RS 2030

Nature et évolution de la matière organique dans le gisement Zn-Pb-Ag de Jabali (République arabe du Yemen)

Origin and evolution of the organic matter in the Jabali Zn-Pb-Ag deposit (Yemen Arab Republic)

B. GAUTHIER
J.R. DISNAR*
J. FERAUD
Ph. LAGNY
A. SHARAF ADDIN**

Le gisement Zn-Pb-Ag de Jabali (République Arabe du Yemen) découvert lors des travaux de prospection YOMINCO-BRGM, est situé dans la couverture Jurassique en bordure du graben du Wadi Al Jawf. La minéralisation sous forme de remplissages paléokarstiques et d'imprégnation de calcaires dolomitisés d'âge Jurassique supérieur (unité 7) est disposée sous une surface d'inconformité scellée par des argilites noires transgressives (unité 8 A). Elle a été presque entièrement oxydée à une époque récente (P. CHRISTMANN et al., 1983).

L'étude de la matière organique a porté sur des échantillons des roches encaissantes (calcaires et leurs équivalents dolomitisés), du minerai primaire et oxydé et des argilites noires.

Précisons tout d'abord que l'on observe dans les roches encaissantes et dans le minerai oxydé une oxydation générale des particules organiques associée à des processus de biodégradation qui masquent une grande partie de l'information.

Les résultats de cette étude permettent de préciser le milieu de sédimentation des argilites et le degré d'enfouissement de la série, ils donnent aussi des renseignements sur les conditions de dépôt des minéralisations primaires.

Les argilites de l'unité 8 A déposées dans une étroite dépression de la surface d'émersion montrent, d'après leur contenu en matières organiques, des conditions de sédimentation évoluant d'un milieu lagunaire à lacustre vers des conditions margino-littorales. Ces résultats concordent avec les données géologiques.

Le degré d'évolution des constituants organiques traduit d'autre part un enfouissement très faible de la série (de l'ordre de quelques centaines de mètres). On peut en outre mettre en évidence un léger gradient de cette évolution en direction des corps minéralisés de l'unité 7 (B. GAUTHIER et J.R. DISNAR, 1985) : celui-ci se traduit par l'augmentation de la réflectance de la vitrinite et du paramètre T max de l'analyse Rock-Eval.

Dans les roches carbonatées de l'unité 7, la matière organique des calcaires montre un degré d'évolution comparable à celui des argilites ; dans les dolomies par contre l'évolution est sensiblement plus accentuée. Cette évolution s'accentue encore dans les échantillons de la minéralisation primaire où la matière organique principalement d'origine continentale apparaît constituée de vitrinite, ce qui traduit la permanence d'un milieu réducteur depuis le dépôt des sulfures. Ce dernier point constitue un argument en faveur d'une expression des minéralisations contemporaine du dépôt des argilites noires de l'unité 8 A ou plus vraisemblablement à un stade précoce de leur diagenèse.

Dans le détail, le degré d'évolution thermique des particules de vitrinite, de la dolomie au minerai, s'accentue légèrement mais suffisamment pour laisser supposer l'existence d'un épisode thermique modéré : les températures maximum peuvent être estimées entre 60 et 100° par comparaison avec l'état diagénétique de la matière organique dans les calcaires de l'unité 7. Cette estimation ne peut cependant pas tenir compte de la durée de cet épisode thermique qui aura tendance à diminuer légèrement la température maximale.

REFERENCES :

P. CHRISTMANN, Ph. LAGNY, J.L. LESCUYER, A. SHARAF AD DIN (1983) - Résultats de trois années de prospection en République Arabe du Yemen. Découverte du gisement de Jabali (Zn, Pb, Ag) dans la couverture Jurassique. Chron. Rech. Min., n° 473, P. 25-38

B. GAUTHIER, J.R. DISNAR (1985) - Résultats de l'étude des constituants organiques de l'unité 8 A (JABALI, République arabe du Yemen) - note GMX n° 1151, 10 p.

* CNRS - BRGM

** YOMINCO, PO Box 297, Sana'a, Yemen Arab Republic.

RS 2031

Le gisement de Bou Grine (Atlas Tunisien) : un nouveau type de concentration Pb-Zn liée à l'activité, d'un haut-fond diapirique du sillon tunisien au Crétacé supérieur

Bou Grine (Tunisian Atlas): a new type of Pb-Zn ore deposit related to an active diapiric structure in the Upper Cretaceous Tunisian trough

J.J. ORGEVAL
D. GIOT
J. KAROUI*
J. MONTHEL
R. SAHLI*

Le gisement de Bou Grine localisé en bordure du massif triasique du Lorbeus, comporte des minéralisations au contact Trias-Crétacé (Pb-Zn-Ba) et à divers niveaux de la série crétacée, du Cénomanien au Turonien (Pb-Zn).

Avec un potentiel géologique de l'ordre de 1 Mt métal Pb+Zn, cette concentration principalement zincifère se place parmi les plus grands gisements du Maghreb.

Parmi les gisements récemment recensés dans la "Zone des Dômes" de l'Atlas tunisien et son prolongement algérien par H. Rouvier et al. (1985), qui proposent un modèle général de mise en place des concentrations péridiapiriques, Bou Grine apparaît d'abord comme un nouveau type de gisement.

Les différents types de minéralisation reconnus par sondages et travaux miniers, depuis la "zone de transition" entre Trias et Crétacé jusqu'à la base du Turonien supérieur, semblent très fortement contrôlés par des facteurs paléogéographiques et paléostructuraux.

Au Crétacé supérieur, le diapir du Lorbeus peut être en effet considéré comme une structure haute et instable du sillon tunisien. La série crétacée transgressive sur un Trias transformé par des phénomènes diagénétiques ("formation de transition"), est fortement influencée par des mouvements tectoniques synsédimentaires répétitifs qui induisent localement de nombreuses variations d'épaisseur et de faciès.

Dans cette série, la formation Bahloul, d'âge cénomano-turonien, riche en matière organique renferme habituellement une forte anomalie géochimique Pb-Zn à la périphérie de nombreux diapirs. Au Jebel Lorbeus, où l'anomalie est plus forte, apparaît à ce niveau une minéralisation stratiforme étendue et régulière qui a constitué l'objectif principal des recherches minières après sa caractérisation en 1978. Cette concentration est recoupée dans sa partie centrale par une minéralisation massive, que l'on a appelé "amas du toit" lors de sa découverte par sondages en 1981. Celui-ci se développe au sein d'un ensemble carbonaté tu-

ronien, où son extension est contrôlée par des accidents synsédimentaires. Ces deux types de concentration constituent l'essentiel du gisement.

D'autres présentations plus modestes, dans le Crétacé et dans la "formation de transition" s'ordonnent de part et d'autre de l'amas. Celui-ci constitue réellement le centre de gravité du gisement puisque les teneurs de la minéralisation la plus régulière et la plus étendue (Bahloul) décroissent en s'éloignant de l'amas.

Divers arguments permettent de penser que la mise en place des minéralisations est étroitement associée à la tectonique synsédimentaire crétacée et que l'expression des sulfures intervient à un stade précoce de la diagenèse, notamment en ce qui concerne la concentration type Bahloul.

REFERENCES :

ORGEVAL J.J., GIOT D., KAROUI J., MONTHEL J., SALHI R. (1986) - Le gisement de Zn-Pb de Bou Grine (Atlas tunisien). Description et historique de la découverte. Chron. rech. min., n° 482, mars 1986, p. 5-32 ;

ROUVIER H., PERTHUISOT V., MANSOURI A. (1985) - Pb-Zn deposits and salt-bearing diapirs in Southern Europe and North Africa. Econ. Géol., vol. 80, n° 3, p. 666-687.

* Office National des Mines, 26 rue d'Angleterre, Tunis, Tunisie.

RS 2032

Structure et évolution dynamique du jebel Lorbeus (région du Kef Tunisie)

Structure and evolution of Jebel Lorbeus (Kef, Tunisia)

Y. GROS
Ph. ELSASS
Y.M. LE NINDRE
R. SAHLI

Cette étude a été réalisée dans le cadre d'un contrat de coopération entre l'Office national des mines tunisien et le BRGM. Le Jebel Lorbeus constitue l'un des nombreux pointements triasiques qui forment la zone des Dômes, vaste entité structurale de 20 à 25 km de large qui traverse la partie nord de la Tunisie du Golfe de Tunis à la frontière algérienne. Ce jebel apparait comme un vaste anticlinal à coeur de Trias de direction N 60°E pour la majeure partie de sa structure et N-S à son extrémité nord (zone de Bougrine).

Cet anticlinal montre des flancs très redressés et même déversés sur son flanc NW. Sur cette bordure, le Crétacé supérieur localement en série inverse, se trouve découpé par des plans d'écaillages qui le font chevaucher l'Oligocène ou le Néogène. Les formations observables sur les flancs de cette structure (hormis le Néogène) apparaissent de façon très discontinue, disposition due à une déformation polyphasée dans un contexte de morphotectonique.

Deux grandes périodes de déformations sont responsables de la complexité de cette structuration :

- une première période synsédimentaire crétacée supérieure se caractérise par l'existence d'un régime distensif qui génère une tectonique cassante avec des failles normales. Deux épisodes se différencient : un premier d'âge cénomanien inférieur à turonien supérieur basal durant lequel une distension NW-SE induit dans la couverture sédimentaire des failles listriques NE-SW avec abaissement du compartiment ouest ; un second d'âge santonien à campanien qui se caractérise par une distension N-S avec formation de failles normales E-W ;

- une période compressive d'âge cénozoïque à quaternaire engendre des structures plicatives et des écaillages soulignés par des discordances. Ces déformations sont de type épiglyptique : elles sont synchrones de dépôts essentiellement continentaux détritiques ou lacustres. Dans ce continuum de déformations, trois épisodes, cachetés par des discordances, peuvent être toutefois distingués :

  . des déformations post Crétacé supérieur et anté Oligocène se caractérisent par la discordance des grès oligocènes sur les formations crétacées inférieures. La géométrie de ces structures n'a pu toutefois être établie ;
  . des déformations post Oligocène et anté Néogène induites par une compression NW-SE, ces structures correspondent à des plis N 60°E affectant l'Oligocène et scellés par le Néogène transgressif ;
  . des déformations post Néogènes ; elles sont générées par une compression variant de NW-SE à ENE-WSW. A cet épisode peut être rattaché la formation de structures plicatives (formation de l'anticlinal du Jebel Lorbeus) ou la création et le rejeu de plans d'écaillages à chevauchement ouest, du flanc NW de la structure du Lorbeus.

Durant toute la période cénozoïque à quaternaire, l'orientation des contraintes compressives reste relativement constante dans toute cette zone.

REFERENCE

GROS Y. et ELSASS Ph (1985) - Déformations précoces et tardives du flanc ouest du Jebel Lorbeus (secteur Guenaoua), région du Kef (Tunisie) - rapport BRGM n° 85 TUN 087 GEO

Matériaux

RS 2033

Approche géochimique appliquée à la recherche de calcaires en Bretagne occidentale

Geochemical approach to limestone prospecting, Western Brittany

P. LE BERRE
J. LETALENET
en collaboration avec
P. BOS

Afin de satisfaire, à l'échelon local, les besoins en amendement calco-magnésien de la Bretagne occidentale, une recherche de gisements calcaires a été entreprise en 1985 par le Service géologique régional Bretagne.

L'étude détaillée des indices recensés (anciennes carrières, puits, sondages miniers) montre que ces calcaires se présentent sous la forme de lentilles intercalées dans des séries schisto-gréseuses à fort pendage. Ces calcaires n'affleurent généralement pas en raison de l'altération superficielle.

Compte tenu de cette altération, nous avons tenté de circonscrire par prospection géochimique une zone favorable (calcaire subaffleurant) où seront réalisés des sondages mécaniques à maille serrée. Un test a été effectué sur deux indices du Finistère : Trinivel (près de Scrigac) et St-Ségal. Les échantillons ont été prélevés à la tarière à main entre 0,5 m et 1,2 m de profondeur, et analysés en I.C.P. Pour le traitement informatique des données, on s'est servi en particulier des paramètres statistiques élémentaires, des histogrammes de fréquences, de la cartographie en courbes d'isovaleurs et de la Classification Ascendante Hiérarchique (CAH). Cette dernière est une technique de regroupement des échantillons ayant des caractéristiques géochimiques communes.

Malgré une maille d'échantillonnage (200 x 50 m et 100 x 50 m) relativement lâche comparativement à la taille moyenne des lentilles calcaires recherchées, les résultats de cette étude préliminaire sont encourageants. En effet, les analyses chimiques permettent, après un traitement approprié, de délimiter de manière relativement précise la trace du calcaire en surface

Celle-ci concorde parfaitement avec les connaissances géologiques déjà acquises sur les deux secteurs (observations en carrières et coupes de sondages).

La signature des carbonates permettant leur repérage en surface comprend essentiellement Zn - Co et Ni, auxquels s'ajoute Mn à Trinivel. Des teneurs en CaO supérieures au seuil de détection analytique de 1% ne sont qu'exceptionnellement observées (un cas sur chacun des secteurs). On peut raisonnablement envisager l'extrapolation de la technique à d'autres secteurs, sachant cependant que la signature des calcaires risque d'être différente, rendant nécessaire la mise en oeuvre d'une approche multi-élémentaire.

Eau

1 - Hydrogéologie des milieux fissurés

RS 2034

Le radon et la prospection hydrogéologique dans le socle

Radon and groundwater prospecting in hard rocks

B. HENOU
Th. POINTET

La prospection des milieux aquifères en roche de socle est marquée, comme la plupart des aspects de l'hydrogéologie des milieux fissurés, par le caractère discontinu de ceux-ci.

Détecter ces contrastes "compartiment fracturé/roche saine" est un principe de prospection largement utilisé. C'est le domaine de la géologie structurale et de la collecte de données indirectes : la géophysique, par exemple, cherche les anomalies de conduction électrique du sous-sol, les effets de réflexion sur les surfaces de contact ou les anomalies sur les champs électromagnétiques induits.

Les plutons granitiques contiennent de très faibles concentrations de minéraux uranifères, qui en se dégradant libèrent du radon, qui migre et tend à se dégager en surface. Le radon est un gaz radioactif et sa détection fournit des indices commodes pour mettre en évidence les zones perméables du bedrock sous-jacent qui constituent les chemins privilégiés pour la migration de ce gaz. Les zones d'émergence au jour doivent donc souligner, dans le milieu saturé, les traces des fractures conductrices au droit du contact altérite/bedrock.

C'est le dégagement de radon comme aide de prospection que nous avons cherché à mettre en évidence dans un massif granitique non hydrothermal et peu sollicité du point de vue néotectonique avec des résultats encourageants.

Le site pilote de Broualan, dans le massif granitique de Bonnemain, a fait l'objet d'une prospection test qui a fait apparaître un bruit de fond à environ 2 000 pci et sur ce bruit de fond des anomalies à 4 500 - 6 000 pci qui jalonnent les traces au sol des fractures hydrogéologiques perméables.

Avec des amplitudes accrues, dans un rapport de 1 à 5, voire 1 à 10 pour une fracture majeure, le même phénomène a été observé en Corse, dans le massif granitique de Tenda.

Dans les deux cas, une assez bonne concordance a été relevée entre les anomalies de radon et les fractures qui avaient été préalablement reconnues par forage et par géophysique dans chacun des cas.

Cette méthode est de mise en oeuvre très légère. Par ailleurs, le maillage de ce genre de prospection gaz des sols peut être resserré (quelques mètres) pour permettre un repérage très fin, au sol, des points d'affleurement des fractures conductrices.

L'information obtenue par les valeurs absolues des anomalies est toutefois difficilement utilisable car l'intensité du dégazage, en surface, des couches altérées est influencée par différents paramètres (pression atmosphérique, humidité du sol, ...) ; les raisonnements doivent donc porter sur les valeurs relatives.

RS 2035

Essai de détermination de la structure et des paramètres représentatifs d'un aquifère en milieu fracturé de socle par interprétation des tests en pompage. Le site-pilote de Broualan (France)

Determination of the structure and characteristic parameters of a fractured medium aquifer by interpretation of pumping tests

Le site pilote d'étude des milieux fracturés de socle aménagé à Broualan en Bretagne, près de Saint-Malo a fait l'objet d'un complément d'équipement et essais en 1985.

Ph. LEBLANC
Th. POINTET

En prévision de l'installation du dispositif d'observation, une importante étude géophysique a été réalisée par méthode électromagnétique, par sondages électriques et sismique réfraction. L'aquifère formé de granites anciens fracturés, a été reconnu par 13 forages d'observation de profondeur comprise entre 8 m et 80 m et répartis sur une aire de 10 000 m². L'ensemble de la reconnaissance directe et indirecte a montré sur le site l'existence de deux anomalies structurales d'importance, orientées N 120° E et correspondant à des fractures hydrauliquement actives, ainsi qu'un couloir d'altération d'orientation N 20° E (fig. 1).

Du point de vue hydrogéologique, l'altération de surface, d'épaisseur variable - de 5 m en moyenne, et de 40 m dans le couloir N 20° E -, peut jouer le rôle de réserve (système captif). Les fractures ouvertes formant réseau, et en particulier les fractures N 120° E, peuvent constituer la partie transmissive de l'aquifère.

Une série de 30 pompages d'essai a été réalisée sur l'ensemble du dispositif, en différents points. L'interprétation de ces tests a été réalisée sur ordinateur à l'aide d'un logiciel offrant des possibilités adaptées aux différents cas étudiés :

- un modèle de fracture verticale unique prenant en compte les paramètres de longueur de fracture (Xf) et de contraste de transmissivité (Tx/Ty) a été utilisé pour l'interprétation des pompages dans les fractures,

- la méthode classique de régime transitoire (Theis, Jacob) prenant en compte l'influence des limites latérales présentes (méthode des images) a été utilisée pour l'interprétation des tests dans le couloir d'arènes granitiques.

Les résultats obtenus sont de deux ordres :

- du point de vue qualitatif, ils révèlent :
  . les connexions existant à l'intérieur du sytème entre fractures et couloirs d'altérites (fig. 2),
  . l'existence d'une hiérarchie dans l'organisation des fractures,
  . le comportement hydrodynamique particulier de la microfissuration associée aux fractures majeures,
  . l'influence de la distance du puits à une fracture hydrauliquement active sur les retards de réponse et les gradients de pression.
- du point de vue qualitatif, le logiciel élaboré permet :
  . de calculer des paramètres hydrodynamiques équivalents propres à chaque élément sollicité (fractures, couloir d'altération),
  . de montrer que la notion de puits étendu ne peut s'appliquer dès le début du pompage à l'ensemble de la fracture sollicitée mais après un délai de 2 à 5 minutes,
  . de mettre en évidence l'existence, dans les fractures, de pertes de charge non linéaires correspondant probablement à un écoulement non laminaire.

RS 2036

Hydrogéologie du socle en Guyane : le site expérimental de la Montagne du Mahury

Groundwater in hard rocks in French Guyana: the Mahury Mountain pilot station

A. BARAT
Th. POINTET

Une première pour le département de la Guyane Française a été réalisée dans le cadre du renforcement de l'alimentation en eau potable de la ville de Cayenne. En vue d'acquérir et gérer une ressource supplémentaire de 200 m³/h en saison sèche, le petit massif dioritique de la montagne du Mahury a été équipé de moyens de surveillance du régime des pluies et des eaux de surface, qui ont mis en évidence un terme "infiltration" grossièrement estimé à 7 000 m³/jour en moyenne sur la totalité du massif et sur l'année.

Par ailleurs, de nombreux filons doléritiques sillonnent ce petit massif en relief. La fracturation primaire de ces filons, en particulier les plus étroits d'entre eux, liée à la fracturation secondaire du massif dans son ensemble ont servi de guide à l'implantation de quatre forages réalisés au marteau fond de trou.

L'un de ces ouvrages a reconnu en décembre 1985 un débit exploitable d'environ 45 m³/h. Ce résultat aura pour effet :

- de faire accepter le principe du recours aux eaux souterraines, en particulier du socle, pour l'AEP de Cayenne. Les AEP étaient jusqu'alors assurées exclusivement par des prélèvements en rivières, souvent à des distances de 30 km des points d'utilisation côtiers, en raison de la pénétration de la marée dans les estuaires,

- de proposer un programme complet d'équipement du site pour 1986,

- de proposer le même recours aux eaux du socle pour l'agglomération de Kourou,
- de démontrer l'avantage d'une ressource très bon marché et de mise en oeuvre très souple puisque le nombre de forages peut commodément s'ajuster petit à petit à l'évolution de la demande.

En outre, l'équipement de mesure placé sur le site lui confère un caractère expérimental. Le suivi se poursuit par conséquent avec le double objectif de l'étude expérimentale de l'hydrogéologie d'un massif de roches dures sous climat tropical humide, et de la constitution d'une base de données en vue de la gestion par modèle de la réserve souterraine.

2 - Informatique hydrogéologique

RS 2037

Reconstitution par traitement statistique et calcul automatique du fonctionnement en pompage d'un champ de captage, en l'absence de données sur les débits d'exhaure. Station de Marcenat (Allier)

Reconstitution, by statistical treatment and automatic calculation, of the functioning of a well-field under pumping, lacking data on withdrawal discharges, Marcenat station (Allier Dept.)

D. D'ARCY
J.J. BOIS
C. BOUCHET

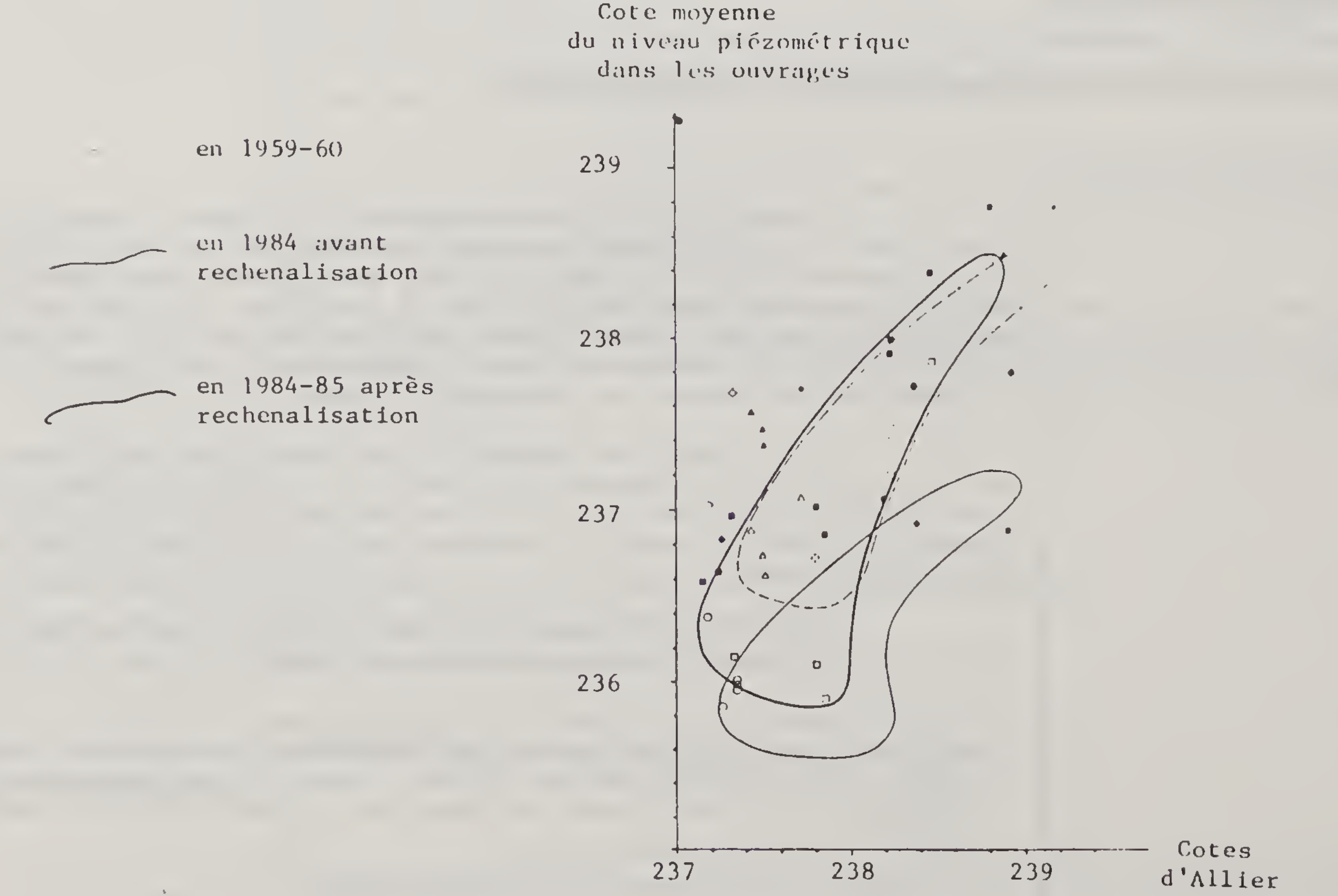
A Marcenat, les 15 puits du Syndicat intercommunal d'alimentation en eau potable du val d'Allier sont situés en rive gauche de la rivière. Ces ouvrages n'ont pas tous les mêmes performances, mais l'exploitation du champ de captage a été permanente depuis 35 ans.

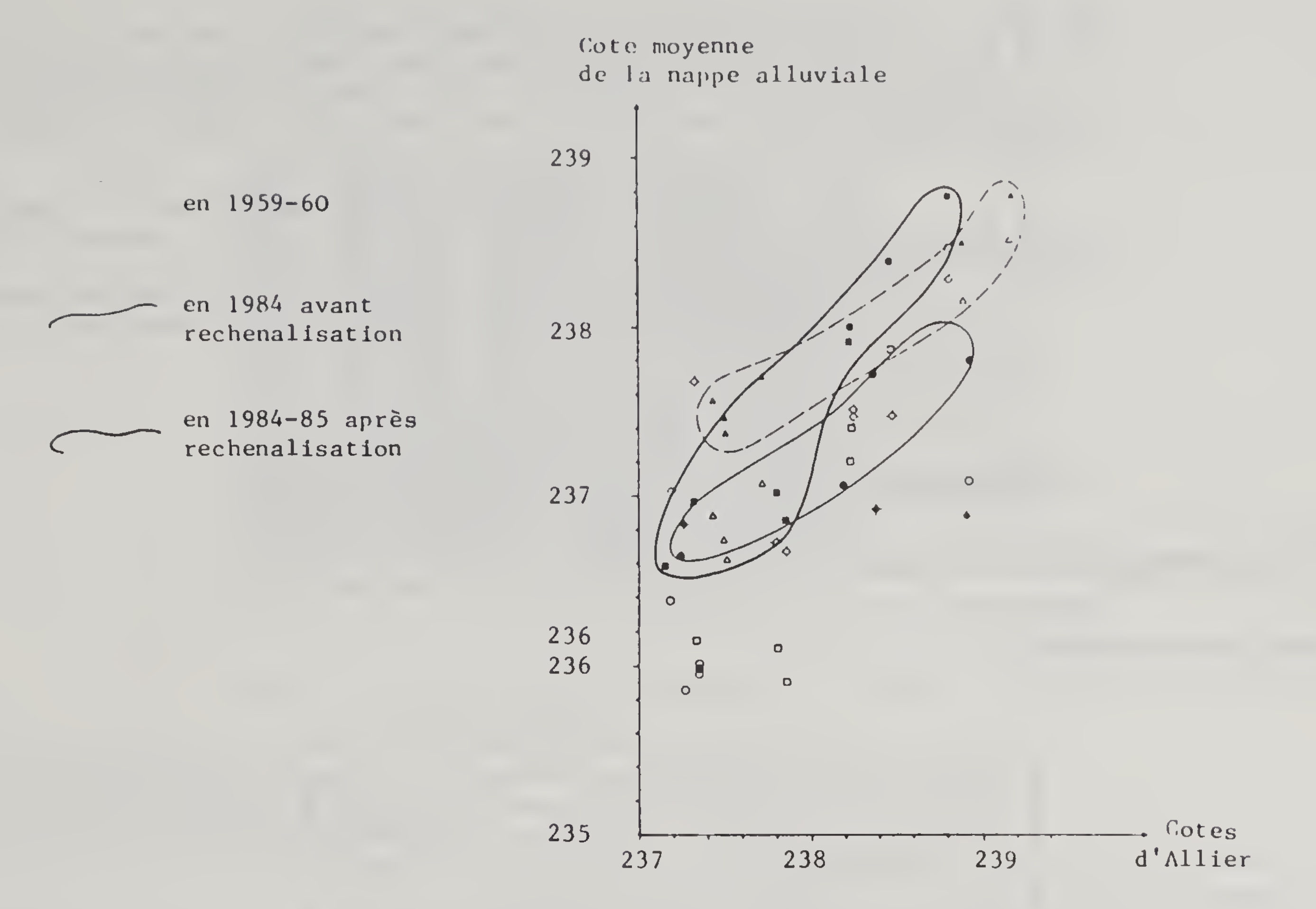
Or la productivité du champ a diminué au fil des ans, devenant insuffisante au moment des étiages.

L'appréciation de cette baisse de productivité était déjà difficile à chiffrer au départ par suite de la méconnaissance des régimes et des temps de pompage affectant des ouvrages sollicités par roulements successifs.

On a pu penser que la baisse de performance était due à la fois au colmatage de la berge et des circuits de réalimentation des ouvrages ; et à l'éloignement progressif de la rivière qui a recreusé un nouveau lit.

Des travaux de curage et de rechenalisation du lit primitif ont donc été entrepris en août 1984.

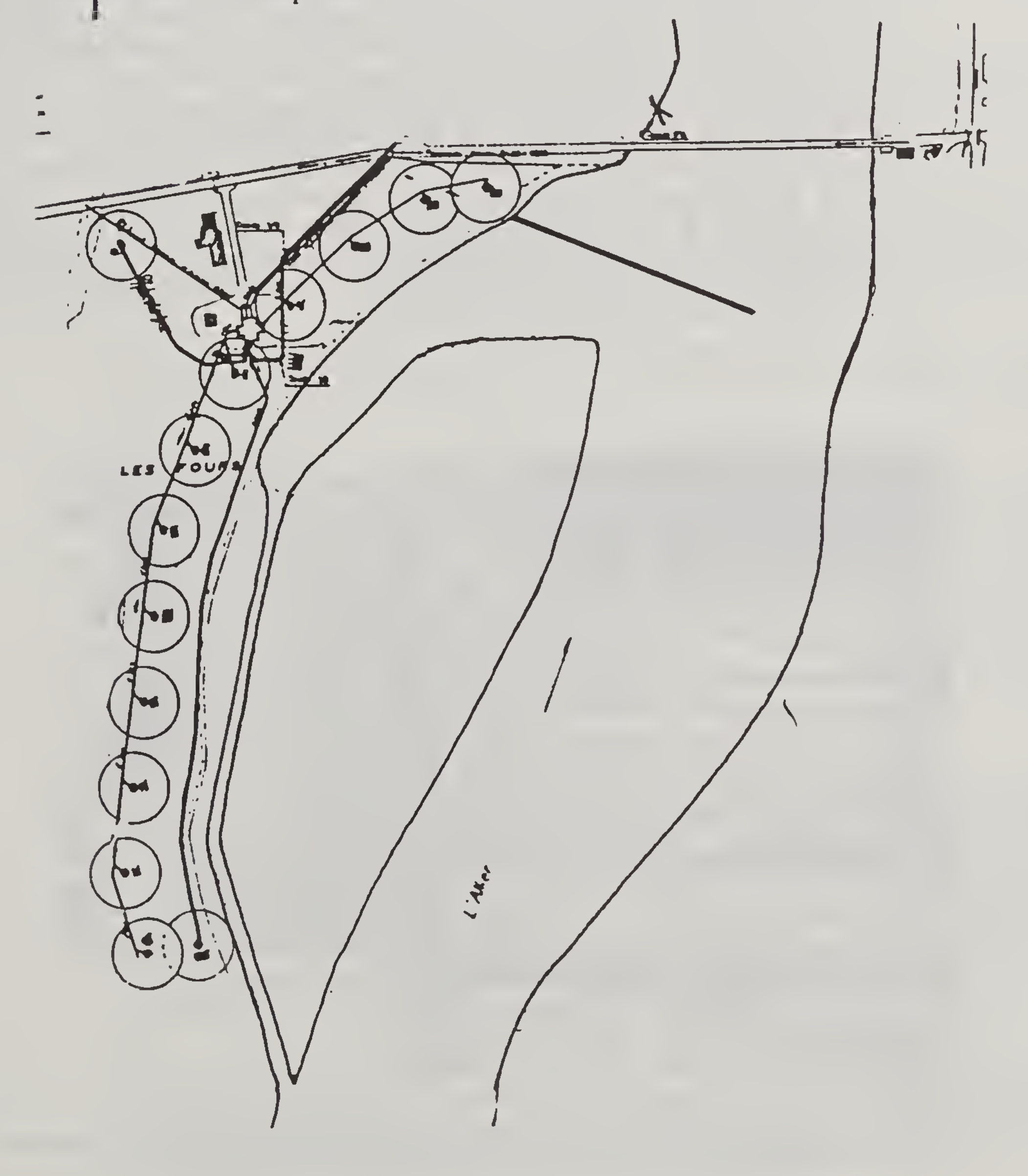




La question posée était de savoir si en 1985, le recreusement du chenal avait amélioré le rendement du champ de captage.

De nombreuses observations des niveaux piézométriques en tous points du champ de captage et du niveau corrélatif de la rivière ont été rassemblées ; grâce à des programmations simples, des séries statistiques ont été reconstituées et des hypothèses faites sur la répartition des débits d'exhaure putatifs en fonction de niveaux moyens de nappe obtenus en pompage.

Une représentation graphique a été adoptée regroupant des points susceptibles de caractériser pour comparaison, l'état de la nappe en pompage avant et après la rechenalisation.



On voit que le fonctionnement du chenal contribue notablement à rehausser le niveau de la nappe en pompage, mais seulement pour une cote de celle-ci supérieure au départ à la cote normale d'étiage. En bref, à l'étiage, la nappe nettement surexploitée, ne récupère plus malgré le traitement entrepris.

Par contre, le niveau moyen obtenu dans les puits en pompage est toujours amélioré par réalimentation semi-directe en provenance du chenal.

L'analyse ne permet pas en l'absence de tout compteur volumétrique, de raisonner autrement qu'en niveaux relatifs et par comparaison des rabattements moyens de la nappe en pompage.

RS 2038

Conception des forages d'eau assistée par ordinateur

Computer-assisted water-well design

J. RICARD
J.P. SAUTY

Un logiciel vient d'être mis au point sur ordinateur compatible IMB/PC pour la conception des forages d'eau, depuis l'établissement pas à pas de la coupe technique prévisionnelle des forages jusqu'à l'évaluation de leur coût probable ("Défi" : Définition et Evaluation des Forages d'eau assistées par Informatique).

Ce logiciel présente l'originalité de joindre à une expertise des opérations techniques réalisées couramment par les projeteurs d'ouvrage, la prise en compte automatique de schémas hydrauliques relativement complexes que ceux-ci laissent généralement de côté. Il s'agit par exemple des pertes de charge hydrauliques dans la formation pour différentes configurations d'aquifère, dans le massif filtrant avec éventuel passage d'écoulement laminaire en turbulent, ou bien au sein du forage. Par ailleurs les durées de foration sont évaluées en fonction de la nature des formations géologiques à traverser, du diamètre de foration et du type de machine choisi. Finalement à partir de la définition de toutes les opérations élémentaires et le choix des fournitures, une évaluation du coût prévisionnel est effectuée.

Ce logiciel est entièrement "convivial" et abondamment illustré de schémas explicatifs ; à chaque étape, il propose à l'utilisateur un choix optimal suivant les critères théoriques, mais lui laisse la possibilité de conclure différemment. Défi est organisé autour d'un menu principal qui orchestre l'accès aux différentes routines spécialisées. Après exécution de chacune d'entre elle, les résultats partiels sont transférés dans un fichier affecté au projet à l'étude : il est ainsi possible d'interrompre le processus à n'importe quel stade pour l'achever à une date ultérieure, ou bien étudier les conséquences de plusieurs variantes à partir de ce niveau. Les nombreux catalogues de matériels et de prix sont situés dans des fichiers différents ; une procédure simple pour leur mise à jour ou bien la création de nouveaux fichiers est intégrée dans le logiciel. Le bordereau des coûts élémentaires (location de chantier et prestations diverses) est également modifiable par une procédure directe au moment de l'évaluation financière du projet.

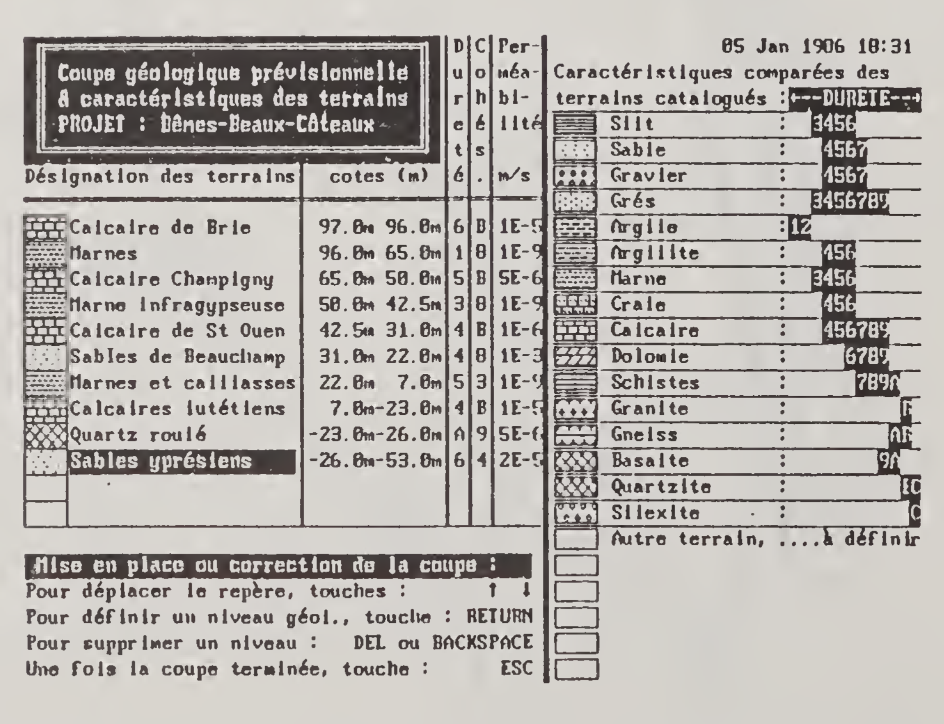


Fig. 1 : Définition de la coupe géologique (à gauche), à partir d'un catalogue de faciès type (à droite)

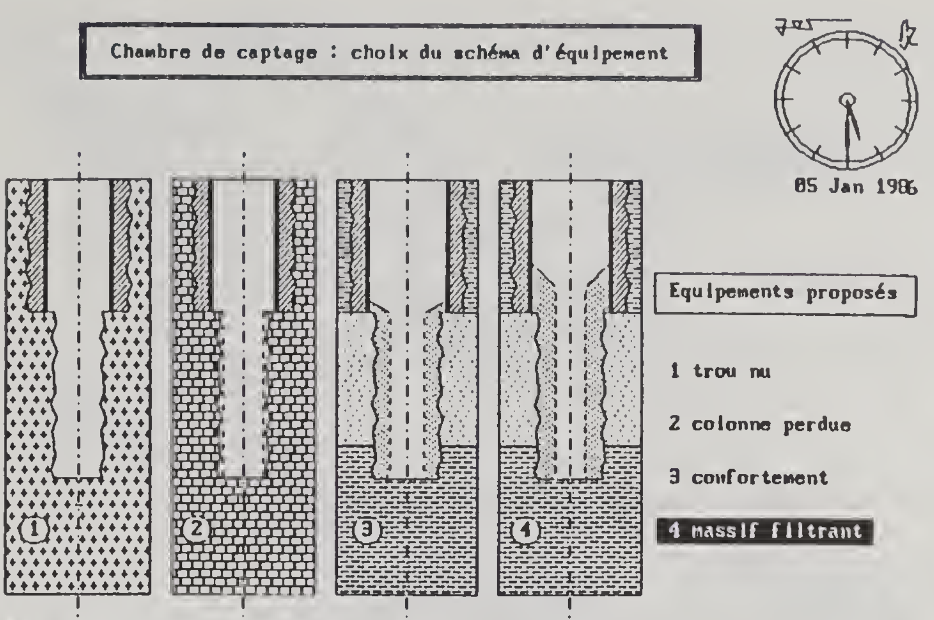


Fig. 2 : Défi : sélection du tubage de la chambre de pompage (copie d'écran)

REFERENCE :

SAUTY J.P. et RICARD J. - Computer Assisted Water Well Bore Design. Proc. 2nd Int. Conference on Microcomputers in Engineering : Development and Application of Software. Swansea (UK) 7 - 10 april 1986. Publié par Pineridge Press Swansea - 1986, pp. 463 ; 470 (rapport et publication en français : à paraître fin 1986).

RS 2039

Modélisation des écoulements superficiels et souterrains dans le cadre de l'aménagement des zones inondables

Modeling of surface and ground-water flows in the context of development of areas liable to inundation

J.P. VANÇON
G. KREBS
Ph. JEAN

Plusieurs projets d'aménagement sont à l'étude ou sur le point d'être mis en oeuvre en plaine d'Alsace, en bordure du Rhin et également de son affluent l'Ill. Ces projets ont pour objectifs :

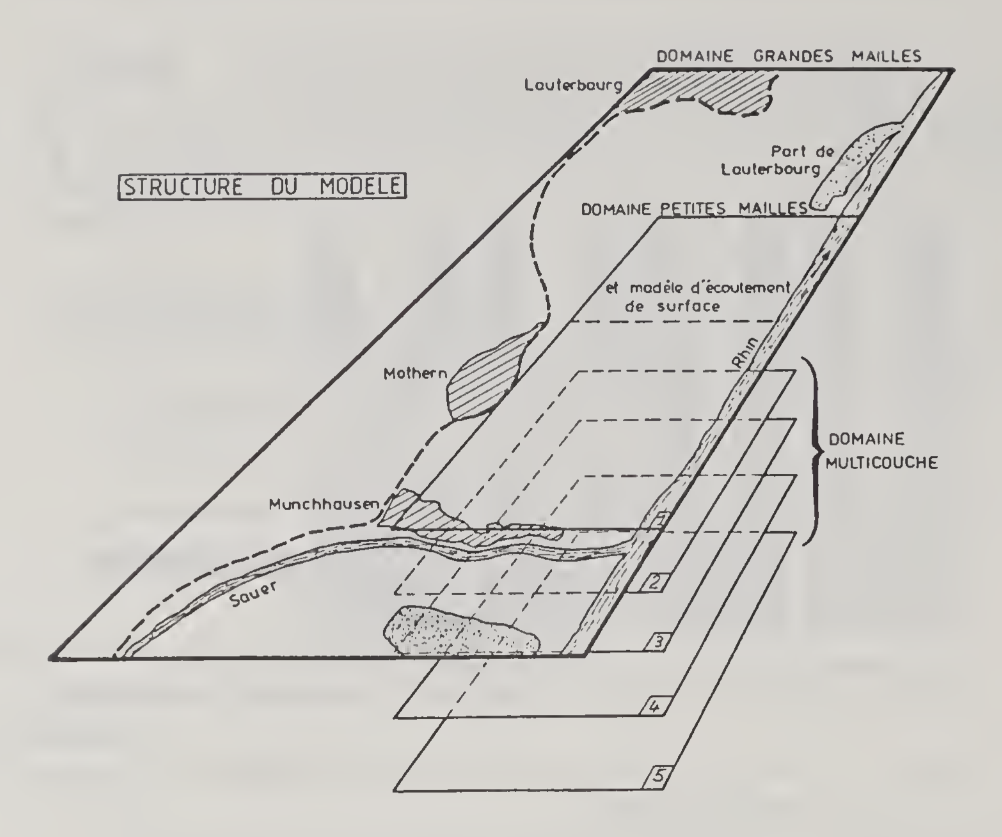
- la réalisation d'aménagements de protection contre les crues du Rhin (secteur Munchhausen - Lauterbourg)
- la création de bassins de rétention destinés à écrêter les crues exceptionnelles du Rhin et de l'Ill.

A la faveur des différents projets étudiés, une méthodologie précise d'évaluation de l'impact des aménagements prévus a été mise au point. Elle est basée sur :

- Une connaissance aussi précise que possible de la *structure physique de l'ensemble du système* : alluvions (perméabilités horizontales et verticales, stratification), présence ou non de limons de surface peu perméables, degré de colmatage des cours d'eau, topographie complète du secteur concerné. Une campagne de reconnaissance de terrain est réalisée, comportant levers topographiques, sondages dans les alluvions avec mesures des perméabilités des différents niveaux (essais Lefranc, mesures de perméabilités en continu), analyses granulométriques, pompages d'essai classiques et essais de traçage dans les piézomètres, reconnaissance du recouvrement de surface par sondages à la tarière et essais d'infiltration.

- Une bonne connaissance de *l'ensemble des écoulements superficiels et souterrains*. Ainsi on devra disposer des évolutions du niveau de l'eau dans le Rhin, les cours d'eau du secteur concerné, les contre-canaux de drainage, les ballastières en eau creusées dans les alluvions, et le plus grand nombre possible de piézomètres. Des mesures de débit doivent être également réalisées. Une enquête auprès des populations concernées permet de connaître l'importance des submersions (sous-sols, cultures, forêts, chemins, digues) lors des très grandes crues.

- La mise en oeuvre d'un *modèle mathématique* qui permet d'une part de tester la cohérence de l'ensemble des données recueillies en l'étalonnant sur des situations connues (étiage, eaux moyennes, historique de crue), d'autre part de tester l'impact des aménagements envisagés. Le plus souvent, on



met en oeuvre un modèle tridimensionnel comportant un certain nombre de couches superposées. Ces modèles sont connectés à des procédures permettant de calculer les écoulements de surface (fluctuations des canaux et des cours d'eau naturels, loi de remplissage du bassin de rétention, etc...). Ils prennent en compte la présence des ballastières en eau qui jouent un rôle régulateur lors de la montée des crues, la perméabilité des différentes couches d'alluvions et des limons de surface ainsi que le colmatage éventuel des cours d'eau.

- La réalisation d'une *étude d'impact détaillée*, utilisant comme point de départ les résultats fournis par le modèle. Il s'agit d'évaluer au mieux les éventuelles perturbations apportées à la flore (la forêt rhénane, les zones de "ried" constituent des écosystèmes dont la préservation doit être assurée), à la faune (présence d'un gibier parfois abondant), aux cultures et aux exploitations forestières, ainsi qu'aux installations existantes (habitations, sous-sols, ...). Dans certains cas, les submersions constituent un retour à la période antérieure à la canalisation du Rhin et pourraient ainsi favoriser, sous certaines conditions, un rétablissement du biotope originel.

Dans le dialogue suscité par les préoccupations des différents intervenants, le modèle mathématique constitue un outil essentiel dans la définition des caractéristiques et du dimensionnement des aménagements.

REFERENCE

Ph. JEAN (1984) : Modèles mathématiques appliqués à l'aménagement des zones inondables. Thèse de 3e cycle. Université des Sciences et Techniques du Languedoc (Montpellier) - 135 p.

J.P. VANÇON (1983) : Gestion de la nappe phréatique de la plaine d'Alsace au moyen d'une banque de données et de modèles de simulation. Colloque de Coblence - AIHS n° 142 - vol. II, pp. 941 - 948.

M. LANSIART et D. YON (1985) : A propos des répercussions prévisibles sur les systèmes forestiers du projet de bassin de rétention d'eau situé entre le bassin de compensation de Plobsheim et la haute digue du Rhin. Rapport 85 SGN 603 ALS, 31 p.

3 - Hydrogéologie régionale

RS 2040

Etude hydrogéologique du bassin versant de la Rivière Lostau, en Guadeloupe. Synthèse des observations de terrain et modélisation des écoulements

Hydrogeological study of the River Lostau drainage basin in Guadeloupe. Synthesis of field data and water-flow simulation

La zone étudiée se situe sur l'île volcanique principale de l'archipel de la Guadeloupe appelée "Basse-Terre". Cette île de forme elliptique de direction principale S.SE-N.NW, est dominée par des hauts reliefs alignés selon un axe N.S. Le climat dominant est celui des alizés d'Est.

P. DESHONS
C. PAULIN

La rivière Lostau s'écoule en côte sous le vent et draine un bassin versant d'environ 12,13 km2 de superficie, avant de se jeter dans la mer des Antilles.

La mission confiée au B.R.G.M., par la Direction Départementale de l'Agriculture de Guadeloupe, a consisté en la mise en oeuvre des techniques classiques d'investigations hydrogéologiques.

- campagne de prospection géophysique par sondage électrique
- réalisation de deux forages et piézomètres, et suivi des fluctuations des niveaux d'eaux sur trois annécs (1983 à 1985).
- réalisation de pompages d'essais
- suivi des précipitations à partir d'un pluviographe installé à proximité des forages.

L'examen détaillé des caractéristiques physiques, morphologiques ct hydroclimatiques du bassin versant, est venu compléter les renseignements recueillis sur le terrain.

L'analyse de ces données a permis l'élaboration d'un modèle de simulation des écoulements sur le bassin versant, inspiré des modèles conceptuels classiques à "réservoirs".

Les résultats obtenus, livrés à l'échelle mensuelle, permettent d'appréhender la partition des écoulements (superficiel, hypodermique, souterrain) et le rôle de chaque horizon hydraulique (surface, sol, nappe) dans le transfert pluie-débit ; reconstituant ainsi le bilan hydrologique du bassin versant.

Le calage des paramètres du modèle a été fait en comparant les valeurs de débits observés à l'exutoire du bassin versant et calculés par le modèle . Sur 59 points de calage, soit pratiquement 5 années d'observations entre 1979 et 1984, nous obtenons un coefficient de corrélation de 0,95.

Exprimés en lame d'eau annuelle moyenne, les différents termes du bilan hydrologique sont :

- précipitation : 3.321 mm (période 1965-81)
- écoulement : 1.608 mm (période 1965-81)
- évapotranspiration potentielle : 1.450 mm

En 1981, année légèrement excédentaire vis-à-vis des précipitations (3.494 mm), les lames écoulées observées et calculées ont été respectivement 1.872 mm et 1.901 mm, se répartissant en :

- 1.089 mm de ruissellement superficiel direct
- 297 mm d'écoulement hypodermique
- 515 mm d'écoulement de base de la nappe souterraine.

La perte totale du bassin versant, par vidange directe en mer ou perte latérale a été évaluée à 165 mm, et la recharge de la nappe à 494 mm.

L'un des principaux résultats obtenus a été d'estimer l'infiltration annuelle moyenne vers la nappe à 480 mm, à partir de six années d'observations ; soit un volume annuel exploitable de 5.580.000 m3 d'eau.

RS 2041

Géologie et hydrogéologie du Val d'Allier entre Moulins et le confluent avec la Loire

Geology and hydrogeology of the Allier valley from Moulins to the Loire confluence

D. D'ARCY
J.J. BOIS

On n'insistera pas sur l'aspect classique de ce genre d'étude destinée à définir les zones d'exploitabilité en granulats et en eau de la nappe alluviale de l'Allier. Il s'agit d'un tronçon de rivière ayant un important impact économique, et cependant non encore investi ni marqué par le caractère concurrentiel de l'exploitation des granulats face à la protection de la ressource en eau souterraine.

Des précisions assez remarquables ont résulté de l'examen géologique des formations encaissantes anté-tertiaires, formant depuis le Trias jusqu'au Jurassique supérieur, les auréoles successives de la bordure du bassin de Paris. La nature et la structure de ces grandes divisions, masquées par les remplissages tertiaires carbonatés, puis les sables plio-quaternaires du Bourbonnais, commandent la morphologie actuelle et le modelé du substratum des alluvions de la rivière.

La direction subméridienne de la basse vallée apparait liée au système des failles de Loire (grande faille du Sancerrois) postérieur à l'Aquitanien, s'inscrivant entre un accident passant à l'Est de Nevers et un accident placé à l'Ouest de Sancoins. Une fracturation intermédiaire complique ce dispositif.

En remontant la vallée vers le Sud, apparaissent d'autres cassures liées au système des failles de limagne, et d'autre part à un faisceau indépendant orienté NE/SO.

Les rejeux mutuels provoquent le décrochement vers le Sud des terrains de la bordure du Bassin Parisien, les faisant affleurer dans la région de Lurcy-Levis - Le Veurdre.

L'influence de cette histoire géologique complexe se traduit par un certaine linéarité du versant ouest de la vallée, avec présence de talus atteignant 200 m d'altitude.

Corrélativement, l'orientation du cours de l'Allier est déviée de Moulins au Veurdre où la rivière reprend sa direction primitive : l'existence de seuils géologiques confère par endroits à la très basse vallée une pente artificielle, double de l'inclinaison naturelle moyenne. Le lit méandriforme devient rectiligne adoptant une allure dite "en tresse".

Dans la basse vallée, la rigidité du môle de rive gauche fixe à l'Ouest une limite rectiligne aux débattements du lit ordinaire. Cependant la rivière subit des déplacements latéraux fréquents à l'intérieur de son lit majeur qui s'en trouve considérablement élargi vers l'Est.

L'épaisseur des alluvions mouillées, la valeur des paramètres hydrauliques, les dimensions du réservoir largement drainé, font de la basse plaine d'Allier, en dehors des rétrécissements dus aux seuils géologiques, une région potentiellement riche en eau souterraine de bonne qualité. Mais un problème assez généralement exprimé est celui du colmatage rapide des ouvrages de puisage où l'on constate une augmentation anormale du taux de Fe et Mn dans les eaux d'exhaure, en regard des teneurs moyennes trouvées au fil de la rivière.

Ces éléments seraient fixés dans les couches basses de l'aquifère, plus ou moins relargués avec la remontée des eaux, mais en tous les cas, libérés au moment des pompages de basses eaux. Les traitements chlorurants provoqueraient alors une précipitation incrustant les parois du puits.

REFERENCE :

D. d'ARCY - J.J. BOIS - R. BELKESSA - Y. FARIGOULE - G. GREFFIER

Interaction des ressources en granulats et en eaux souterraines entre Moulins et le confluent avec la Loire (Bec d'Allier).
Départements : ALLIER - CHER - NIEVRE
Rapport 85 AGI 007 AUV

J.J. BOIS - Résumé scientifique 1984, RS 1811

RS 2042

Synthèse hydrogéologique de la molasse miocène Bresse, Dombes, Bas-Dauphiné, France. Rapport d'étude 1985

Hydrogeological synthesis of the Miocene "molasse", Bresse, Dombes, Bas-Dauphiné, France. 1985 report

Y. GOUISSET
A. GRAILLAT
avec la collaboration de
M.F. SUAIS
P. BEAUDUC
A. GUILHOT

GENERALITES SUR L'ETUDE

La synthèse hydrogéologique de l'aquifère molassique miocène des régions Bresse, Dombes et Bas-Dauphiné, a été entreprise à l'initiative du Service géologique régional Rhône-Alpes. Le financement du programme 85 a été assuré par l'Agence de Bassin Rhône-Méditerranée Corse et par le ministère du redéploiement industriel et du commerce extérieur. Sa poursuite se fera dans le cadre d'une convention Agence de Bassin, conseils généraux (Drôme, Isère, Rhône) et BRGM.

L'étude pluriannuelle de cet aquifère doit conduire à une connaissance suffisante de son fonctionnement pour permettre d'envisager une gestion de ses ressources. Au cours de sa réalisation, les données brutes et élaborées sont mises à la disposition du public selon une présentation qui en facilite l'exploitation par les hydrogéologues professionnels et par les aménageurs.

La série molassique qui couvre 8.600 km^2 inscrits dans un rectangle de 205 km nord-sud et 80 km est-ouest, constitue un aquifère de bonne qualité, dans la mesure où il est généralement bien protégé des risques de contamination qui menacent les aquifères superficiels et les eaux de surface. Déjà exploité dans le sud de la Drôme, il sera de plus en plus sollicité dans les années à venir.

Grandes lignes du programme pluriannuel :

- récolte des données de base et premières interprétations (coupes forages, données piézométriques et mise en place d'un réseau piézométrique, données hydrochimiques, cartographie des faciès chimiques et mise en place d'un réseau qualité) ;
- définition et cartographie des structures géologiques (toit, mur, limites latérales, lithologie) ;
- définition des fonctionnements (hydraulique, cartographie des pluies efficaces, échanges externes) ;
- directives et outils de gestion de la ressource.

Les deux premiers points constituent le corps principal des travaux 1984 et 1985, le point suivant a été ébauché, quant au dernier poste, il pourra être abordé en 1987.

REALISATIONS PARTICULIERES

Les données à utiliser se comptant par milliers, voire par dizaines de milliers, le recours à l'outil informatique a été systématisé pour trois types précis d'application :

- **préparation des données** (tri, report de paramètres, cartographie) ;
- **pré-interpréteur géologique** (génération de surfaces telles que le toit constituant un brouillon rapide de l'interprétation) ;
- **manipulation de données élaborées** (combinaisons cartographiques, calculs de surfaces et de volumes, statistiques).

PREPARATION DES DONNEES : les données géologiques sont classiquement issues de trois sources de renseignements mais sont associées dans un même fichier (exemple : semis de points X et Y Lambert et Z de la cote NGF du toit) :

- **coupes géologiques des forages** : interrogation d'une base de données géologiques (logiciel Jacard) comportant actuellement 4600 forages dont environ 600 à la molasse ;
- **cartes géologiques** pour les affleurements : digitalisation des contours d'affleurements : les Z des couples X, Y correspondants sont lus dans un fichier Modèle Numérique de Terrain qui constitue un maillage à 500 m de la surface topographique ;
- **données bibliographiques** (cartes d'isovaleurs et coupes) : pour favoriser l'interprétation intellectuelle par rapport aux calculs automatiques, les cartes d'isovaleurs sont digitalisées et les coupes interprétatives sont discrétisées en "faux forages" qui sont intégrés à la base de données.

PRE-INTERPRETEUR GEOLOGIQUE : les points renseignés X, Y, Z ainsi générés (environ 8000 pour le toit) sont réunis dans un fichier unique de semis qui après interpolation permet de représenter la surface considérée : les isohypses du toit par exemple (logiciels Fiesta et Synergie). Cette opération autorise la vérification simultanée de l'homogénéïté d'un nombre très important de données disparates ainsi que la validité des hypothèses structurales (notamment les limites latérales du magasin).

MANIPULATION DE DONNEES ELABOREES : des surfaces ou **images** sont générées à partir des interprétations définitives : surface du toit, topographie, piézométrie, carte des transmissivités,... Elles sont toutes discrétisées dans le même cadre géographique et selon le même maillage de 500 m de côté et constituent autant de tableaux de 66000 noeuds, arithmétiquement combinables à souhait (logiciel Synergie) : **isobathes** : soustraction des images "isohypses du toit" à la "surface topographique". **Isopaches** : différence entre les isohypses eu toit et celles du mur... A chaque noeud, le calcul n'est réalisé qu'en présence simultanée de toutes les données mises en jeu.

Une **carte du coût** d'un forage d'eau à la molasse a été ainsi constituée par combinaison de cartes de coûts de foration et d'équipement déduites des "images géologiques et hydrogéologiques".

RS 2043

Détection des circulations d'eaux thermominérales par analyse des gaz du sol

Determining underground flow of thermomineral waters through soil gas analysis

F. BERTHIER
F. IUNDT

Les sources thermales ou minérales véhiculent, sous forme libre ou dissoute, des gaz associés. Pendant leur remontée vers la surface, la baisse de pression hydrostatique engendre une séparation de phase (eau - gaz). Au débit d'eau pérenne, qui caractérise ce type d'émergence, peut donc être associé dans bien des cas, un débit de gaz dont la composition et l'intensité dépendent du site considéré.

Dans le proche sous-sol, l'axe principal de remontée hydrothermale peut se diversifier en plusieurs lieux de circulation de fait de la décompression que connaissent les terrains de surface et des contre-pressions qu'exercent les nappes libres de l'environnement hydrogéologiques (GOGUEL, 1980 ; BLAVOUX, 1984).

Dès lors qu'au flux d'eau minérale est associé un flux de gaz, la détection des teneurs anormales en gaz dans les sols peut se révéler un outil pour la détection des lieux de circulation souterraine d'eau thermominérale.

La méthode mise en oeuvre reprend les principes :

- des investigations menées à finalité minière ou géothermique par diverses équipes internationales (ISRAEL et BJORNSSON 1967, KOGA 1983, SIDLE 1984),
- des tests effectués sur des sites d'eau minérale gazeuse (DADDE 1959, DRIDRE et QUERFURTH 1971, BATARD et RISLER 1978).

La technique de prélèvement et de mesure des gaz des sols adaptée et mise au point, a été rendu légère et rapide. Elle permet ainsi d'envisager des interventions dans les contextes urbanisés que sont les environnements des sites thermaux ou d'embouteillage d'eau minérale.

Plusieurs campagnes ont été effectuées dans l'environnement immédiat de sources thermales ou minérales de compositions chimiques variées appartenant à divers contextes géologiques. Les dosages ont porté, selon les cas, sur le CO_2 radon, H_2S, méthane, sur 8 stations dans divers contextes géologiques et structuraux.

Ces études, tout en démontrant l'adéquation de l'outil à ces divers contextes, ont permis de préciser les points suivants :

- tous les environnements de sources thermales ou minérales en socle ou en sédimentaire comportent des anomalies en gaz dans les sols qui se distinguent indiscutablement du bruit de fond général (exemple : fig. 1),
- les valeurs absolues des anomalies mesurées peuvent varier selon les conditions météorologiques (pluie, gel, etc) et hydrogéologiques. De ce fait, les raisonnements doivent porter sur les valeurs relatives, la finesse des interprétations dépendant des conditions de la campagne,

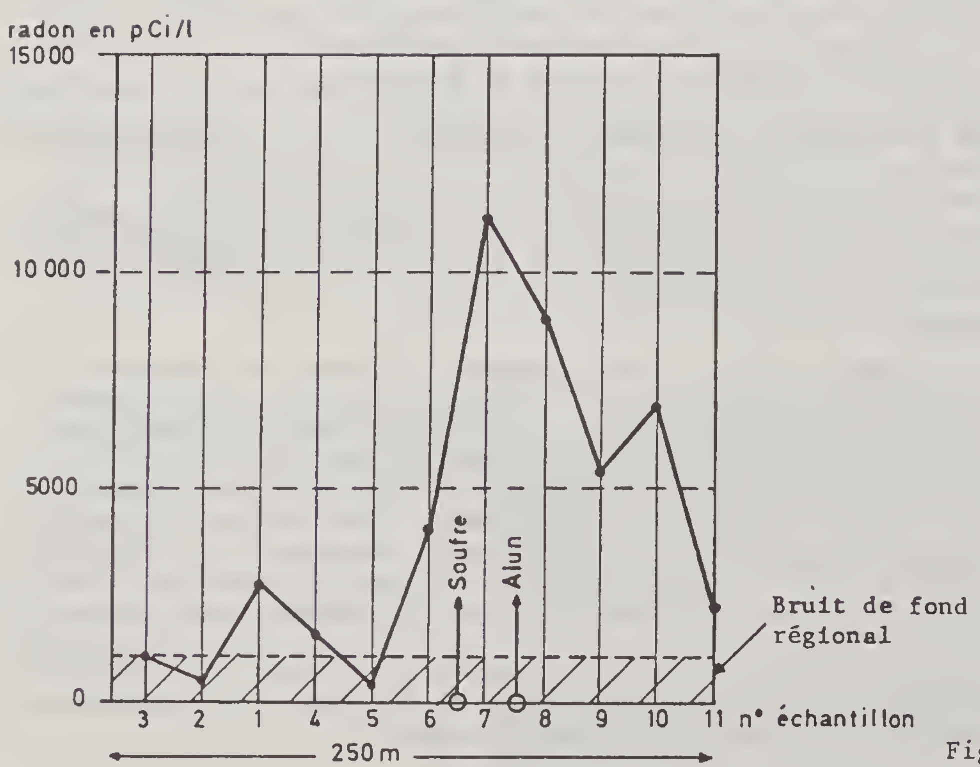


Fig. 1 : Profil de mesure dans l'environnement proche des émergences thermales d'Aix-les-Bains

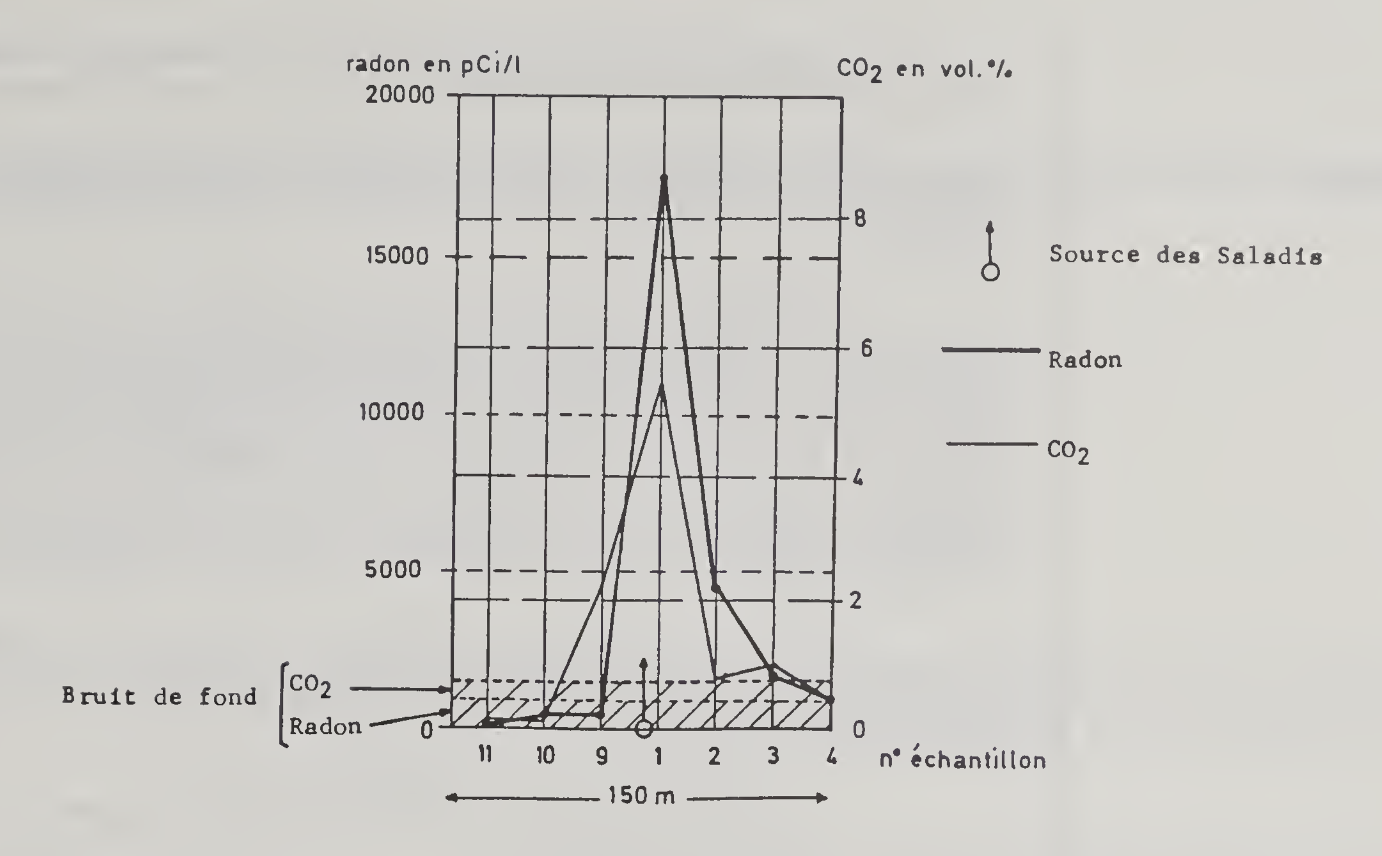


Fig. 2 : Profil de mesure dans l'environnement proche des émergences minérales de Sainte Marguerite - Saladis

- le radon, produit de désintégration de courte durée de vie (3,8 jours) lié à la radioactivité de l'eau minérale, présente une excellente signature dans chacun des contextes étudiés,

- le CO_2 trace parfaitement les circulations des eaux thermominérales carbogazeuses,

- par contre, les mesures d'H_2S et de méthane, gaz associés au système hydrothermal de Puzzichello, n'ont pas fourni de résultats exploitables. Les raisons qui doivent être invoquées sont, pour le premier : l'instabilité de la forme réduite du soufre dans un environnement oxydant lors de la traversée de la nappe libre ; pour le second : les faibles teneurs mesurées engendrant des anomalies trop faibles en regard du seuil de détection de la méthode mise en oeuvre.

- les anomalies du CO_2 sont souvent moins contrastées que les anomalies radon (cf fig. 2), ce phénomène est à relier à la diffusivité du CO_2 dans les nappes libres (solubilité du CO_2 = 0,83 l/litre d'eau contre 0,23 pour le radon),

- les corrélations ou anticorrélations que l'on peut mettre en évidence en combinant le dosage de ces deux gaz, à comportement différent, peut se révéler un outil extrêmement efficace pour identifier les déplacements latéraux que peuvent générer les écoulements de nappes libres.

Parallèlement à cette étude thématique, le caractère opérationnel de cette méthode, lorsqu'elle est combinée aux autres outils d'investigations (géologie, hydrogéologie, géochimie et géophysique) a pu être démontré grâce au forage d'exploitation de Saint-Galmier (eau minérale) et d'Andorre (projet géothermique).

Cette méthode permet de compléter et voire de suppléer aux méthodes géophysiques généralement défaillantes dans l'environnement urbain (canalisation souterraine, parasites électriques, ...)

Par extension, le test de son adéquation à la recherche d'eau dans certains contextes de milieu fissuré a été engagé (cf. RS n° 2034).

4 - Eaux thermo-minérales

RS 2044

Mesures en continu de paramètres physico-chimiques sur des fluides de forages d'eau thermominérale

Monitoring physical and chemical parameters of thermomineral waters

Les eaux minérales et thermales exploitées correspondent à un produit référencé. Tout forage destiné à augmenter la ressource doit donc fournir une eau de composition chimique bien déterminée, semblable à celle déjà autorisée et commercialisée.

F. IUNDT
F. BERTHIER

Cette contrainte nécessite d'avoir une connaissance immédiate des fluides produits pendant la foration ou durant les essais de pompage.

Dans ce but, un système programmable d'acquisition numérique a permis d'enregistrer, selon un pas de temps sélectionné, différents paramètres physico-chimiques (température, conductivité, ...) pendant des opérations de forage.

Les mesures de conductivité des eaux minérales ou thermales nécessitent un appareillage tout à fait adapté car ces eaux peuvent être entartrantes ou agressives et modifier de ce fait, les caractéristiques initiales de la cellule de mesure (entartrage, corrosion, ...). Les mesures de conductivité sont faites suivant un principe de mesure utilisant 4 électrodes : deux électrodes de mesure et deux électrodes de référence (de compensation). La sonde et le transmetteur constituent un ensemble de mesure avec compensateur automatique des variations d'état de surface des électrodes. Une thermo-résistance permet la compensation automatique de la température ramenant les valeurs à la température de référence (20°C).

Ces enregistrements en continu de la température et conductivité des eaux ont été réalisés pendant une opération de forage au marteau fond de trou (recherche eau minérale) et durant un essai de pompage (eau thermale). Les résultats obtenus ont permis :

- l'identification des aquifères traversés ;
- l'arrêt "sur cible" (recherche d'une eau minérale de composition chimique déterminée) ;
- de quantifier la contribution des différents aquifères pendant les essais de pompage ;
- de fournir les éléments pour fixer les conditions limites d'exploitation et prévenir les dégradations de la qualité chimique de l'eau.

L'extension de ces enregistrements numériques sur des périodes de temps plus longues (suivi sur une année pendant les périodes d'exploitation et d'arrêt) permettrait de mieux connaitre l'ampleur des fluctuations (naturelles ou provoquées) des eaux thermominérales favorisant ainsi une meilleure gestion et un contrôle toujours mieux référencé.

Hydrogéochimie

1 - Qualité des eaux souterraines : traceurs, hydrogéochimie régionale

RS 2045

Mise en place d'une base de données qualité chimique des eaux souterraines sur deux départements pilotes : Essonne et Seine-Maritime

Installation of a database for the chemical quality of groundwater in two pilot departments: Essonne and Seine Maritime

P. ANDRE
B. MAZENC

Pour le compte du Ministère de l'environnement avec le concours du Ministère de la Santé et de l'Agence financière de bassin Seine-Normandie, le Service géologique Ile de France a mis en place sur deux départements pilotes : l'Essonne et la Seine-Maritime, une base de données qualité chimique des eaux souterraines.

Deux systèmes de gestion de base de données, "habillés" par les départements de l'Eau et des techniques informatiques du B.R.G.M. ont été mis en oeuvre sur deux types de matériel pour réaliser l'opération.

Dans un premier temps, le logiciel MDBS implanté sur un microordinateur SYMAG M4000 du S.G.R. a permis la saisie et le stockage de l'information.

Dans un second temps, ces données ont été transférées sur le VAX 1011 du site central du B.R.G.M. Elle sont gérées par le logiciel RDB.

Cette base comprend des informations sur :

- le point de prélèvement (indice d'identification national, commune de situation, département, nappes captées, type d'ouvrage, coordonnées géographiques Lambert, profonde, indices Agence de bassin, types de gestionnaire et d'utilisateur, périmètres de protection, etc ...),
- les analyses réalisées (date, laboratoire, motif de l'analyse, éléments analysés, concentrations).

Les informations saisies au cours de ce travail regroupent pour les deux départements l'ensemble de leurs captages répertoriés en B.S.S. (soit 400 ouvrages environ) et les analyses les concernant depuis 1974 (soit plus de 6.000 analyses).

REFERENCE :

ANDRE P., MAZENC B. - Mise en place d'une base de données qualité chimique des eaux souterraines sur les départements de l'Essonne et Seine-Maritime. Rapport à paraître.

RS 2046

Influence de la structure et de la nature des terrains du Valenciennois sur la qualité de la nappe de la craie (Nord de la France). Apport du krigeage à l'hydrochimie régionale. Gestion qualitative des eaux souterraines

The influence of structure and geology of the Valenciennes area on the quality of groundwater in the chalk of Northern France. Utility of kriging for regional hydrochemistry. Qualitative groundwater management

B. DROZ

Dans le Valenciennois, le problème de la ressource en eau est essentiellement d'ordre qualitatif. La nappe de la craie du Sénonien et du Turonien supérieur, principal aquifère exploité dans la région, montre du moins dans sa partie libre une nette dégradation de sa qualité, associée de toute évidence aux activités humaines. Le Nord de la région qui, par la présence d'un important recouvrement tertiaire, présentait les conditions idéales à l'exploitation de la ressource en qualité, est toutefois soumis à une altération naturelle de la nappe de la craie, liée, soit à des manifestations profondes, soit à la nature des terrains tertiaires. Ces contaminations traduisent, de par leur diversité, une

histoire géologique complexe dont l'héritage tectonique s'est transmis jusqu'au Quaternaire.

A l'aide de trois types de traitement des données hydrochimiques, l'analyse du chimisme de la nappe de la craie a permis de séparer la région du Valenciennois en deux grands domaines bien distincts et de comportement chimique différent. Il s'avère en outre que la majorité des eaux prélevées pour l'alimentation en eau potable, est loin d'être de bonne qualité, se trouvant à des degrés de contaminations plus ou moins développés. Une approche géostatistique du chimisme de la nappe de la craie a permis de mieux connaître la variabilité des teneurs observées. Cette application nouvelle du krigeage sur les deux éléments chimiques dominants dans les eaux de l'aquifère crayeux (nitrates et sulfates) a donné de bons résultats, tout à fait prometteurs pour une utilisation plus régionale de cette technique de cartographie automatique.

Le constat de cet état d'altération de la qualité de la nappe de la craie a rendu nécessaire l'élaboration d'un schéma d'aménagement des eaux souterraines, s'insérant dans le cadre de l'aménagement territorial de l'arrondissement de Valenciennes. En analysant ce que la ressource offre en qualité et les besoins du même type (la demande), ce schéma permet d'assurer l'avenir harmonieux de la production d'eau potable avec le développement économique de la région, actuellement en cours de restructuration.

REFERENCE :

B. DROZ - Influence de la structure et de la nature des terrains du Valenciennois sur la qualité de la nappe de la craie (Nord de la France) - Apport du krigeage à l'hydrochimie régionale - Gestion qualitative des eaux souterraines - 85 SGN 215 NPC.
UNIVERSITE DES SCIENCES ET TECHNIQUES DE LILLE - U.E.R. des Sciences de la Terre - THESE présentée en vue de l'obtention du Doctorat de Troisième cycle en Géologie Appliquée.

RS 2047

Utilisation des traceurs pour définir les périmètres de protection

The use of groundwater tracers for the determination of water-well protected areas

A. LALLEMAND-BARRES
J.P. SAUTY

Le code de Santé publique détermine les conditions de protection de la qualité des ouvrages de prélèvement d'eau souterraine destinés à l'alimentation : les actions dangereuses pour la qualité de l'eau sont interdites sur l'aire d'alimentation du captage, au moins sur une distance telle que le transit des polluants éventuels soit suffisamment long pour qu'ils puissent être dégradés par action bactérienne, chimique ou autre avant de parvenir au forage.

Traditionnellement, on fixe, de façon arbitraire, une durée minimale de 10 jours pour ce transfert. Le temps de transit des particules d'eau peut être évalué en fonction des écoulements et des caractéristiques de l'aquifère, identifiables par expérience de traçage. En fait, nombre de produits, toxiques ou non, véhiculés par l'eau sont susceptibles de réagir avec la matrice rocheuse, les ions en solution ou la faune bactérienne : leur temps de séjour s'en trouve modifié. L'action épurative du transfert souterrain est également très variable. Le traceur lui-même peut être sujet à échanges (traceur imparfait) et l'analyse de sa restitution doit en tenir compte.

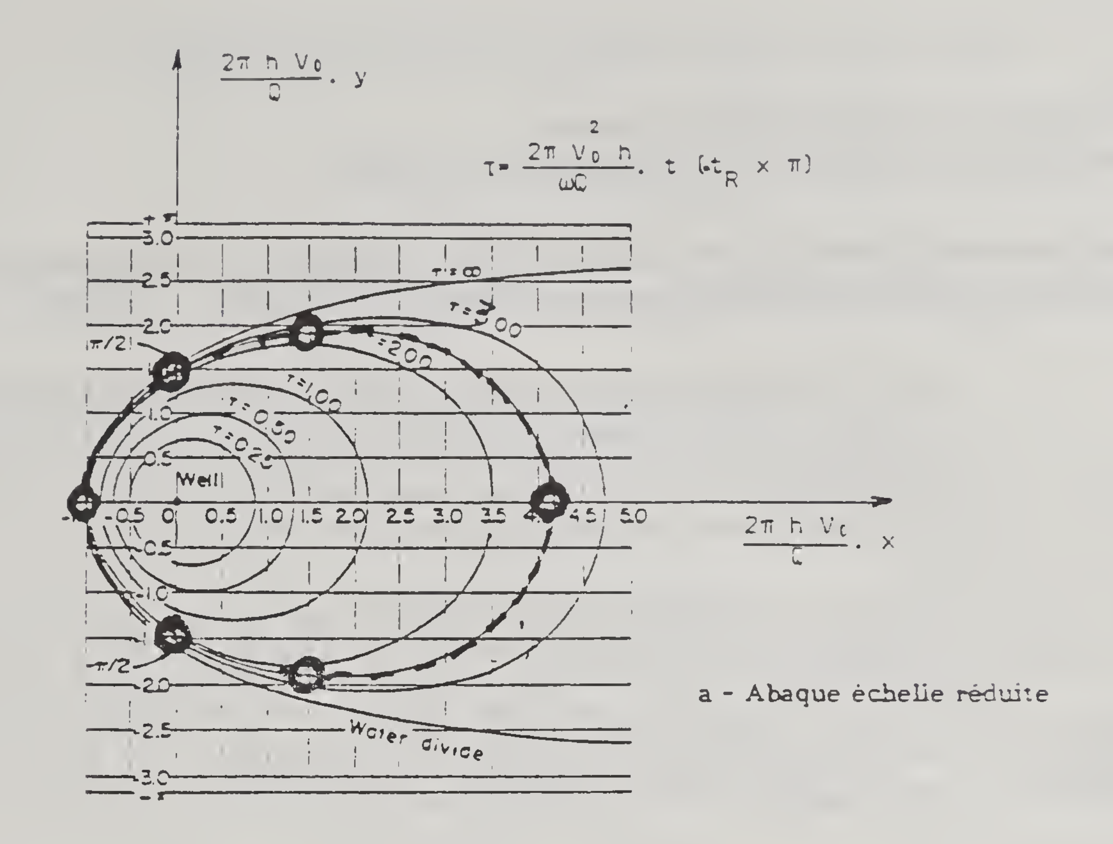
A la demande du Ministère de l'Environnement, les auteurs ont procédé à l'étude de ces différents aspects :

- Etude bibliographique des mécanismes de la rétention des ions dans les nappes (A. LALLEMAND-BARRES, 1985).

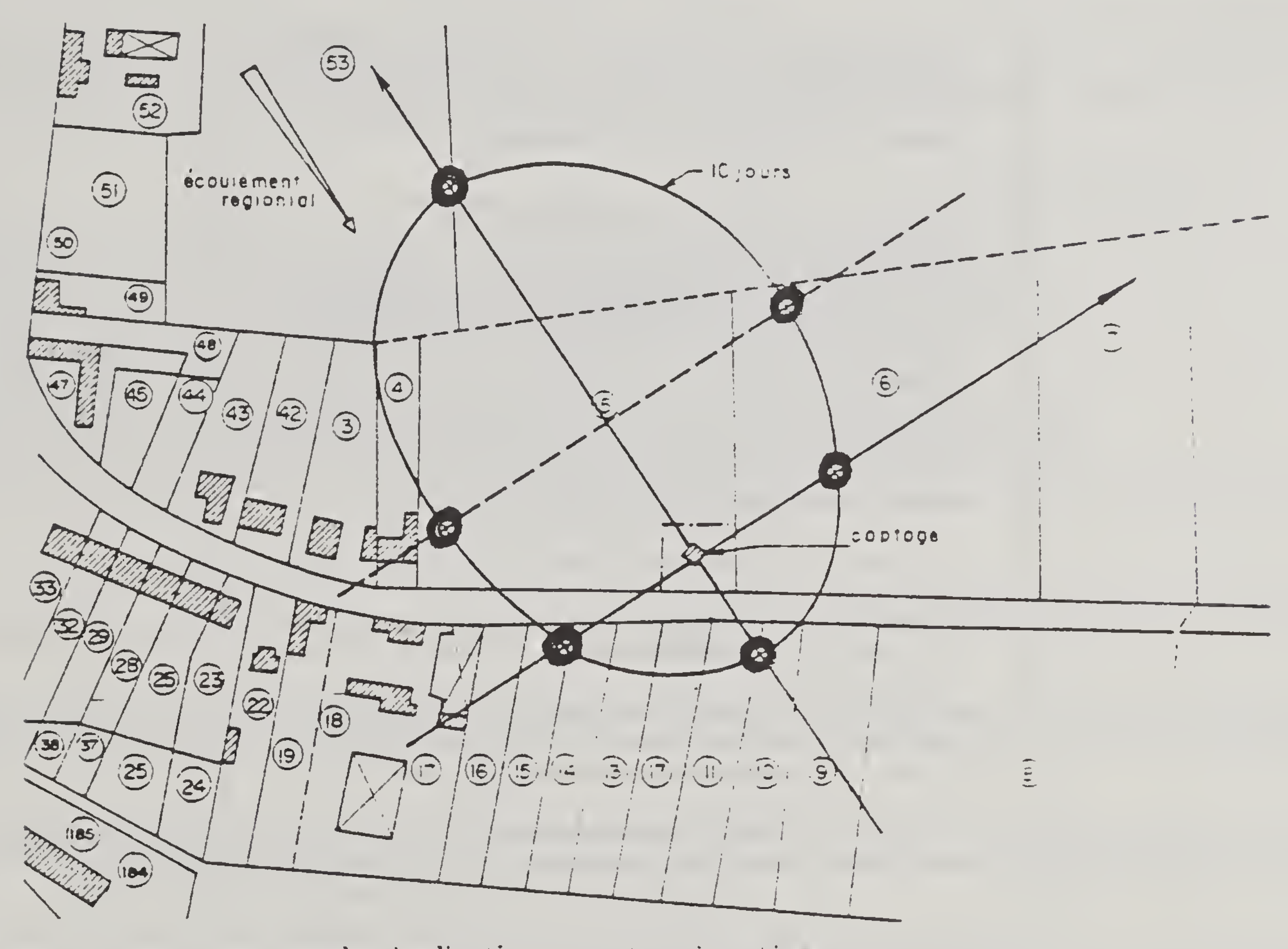
- Rédaction d'un manuel (JP. SAUTY, 1985) présentant les différents éléments pour interpréter les traçages et en appliquer les résultats à la délimitation des périmètres de protection dans les cas d'écoulement les plus courants : puits dans une nappe au repos, puits dans une nappe en écoulement, puits à proximité d'un cours d'eau, batterie de forage. Le manuel montre sur des exemples, l'utilisation de formules simplifiées et d'abaques ; le détail des calculs est toutefois fourni en annexe.

Le second document, édité en 1985, est un rapport provisoire qui sera complété en 1986, notamment par l'interprétation comparée d'expériences réalisées simultanément avec des traceurs "parfaits" et des traceurs sujets à échanges, moins coûteux mais plus aléatoires.

Pour le futur, les progrès dans la connaissance des modalités d'échanges devraient permettre une délimitation des périmètres différenciée en fonction des produits nocifs susceptibles de polluer les eaux.



a - Abaque échelle réduite



b - Application au captage à protéger

- Détermination de l'isochrone 10 j (temps adimentionnel = 2.5)

REFERENCE :

LALLEMAND-BARRES A. - Utilisation des traceurs pour définir les périmètres de protection. 1ère partie : modélisation de la rétention des ions dans les terrains saturés. Revue bibliographique. Rapport 85 SGN 490 EAU.

SAUTY JP. - Utilisation des traceurs pour définir les périmètres de protection. 2ème partie : manuel pour la prise en compte des transferts hydrodispersifs dans l'interprétation des traçages et la délimitation des périmètres. Rapport 85 SGN 660 EAU

RS 2048

Colmatage - Effet filtre des berges. Mise en oeuvre d'un champ expérimental sur la zone de captage de la Courly

Clogging and filtering of river banks and effect on water quality in alluvial aquifers. Initiation an experimental site in the Courly pumping zone (Lyon, France)

A. BOURG
J.J. COLLIN
D. DARMENDRAIL
J.P. SAUTY
M.F. SUAIS
avec la collaboration du Centre d'études nucléaires de Grenoble

Les nappes alluviales en étroite relation avec les eaux de surface sont, en région Rhône-Alpes, très sollicitées par des champs captants proches des cours d'eau. En effet, de tels dispositifs permettent le transit et la filtration de forts volumes en provenance de la rivière, et ainsi, de s'affranchir de nombreuses contraintes qualitatives (MES, Bactéries, DCO, ...).

Dans ces échanges nappes-rivières, l'interface ("la berge") a une grande importance : il est aisé de percevoir son rôle de barrière, mais les mécanismes dont elle est le siège sont plus difficiles à identifier et surtout à quantifier et par conséquent à modéliser, ce qui interdit toute prévision réelle. En effet, lors de la migration des substances plus ou moins solubles à travers la matrice poreuse, les nombreux transferts de phases solide à liquide et/ou liquide à solide sont régis par les conditions hydrodynamiques, physiques, chimiques et microbiologiques du milieu.

De nombreuses recherches et travaux ont déjà permis d'établir des lois théoriques, de modéliser différents phénomènes, et d'envisager une classification des traceurs. Cependant, dès lors qu'il s'agit de la vulnérabilité d'un captage, des distorsions par rapport à la réalité apparaissent, tant est grande la complexité des phénomènes.

Pour cette raison, une investigation sur le site expérimental a été envisagée. Elle est en cours sur la zone de captage de la CO.UR.LY (COmmunauté URbaine de LYon) à Crépieux-Charmy. Celle-ci, située entre le vieux Rhône et le Canal de Miribel, est bien connue et bien équipée. Il a été décidé de mettre sur pied une expérimentation simulant le passage d'une pollution dans le Rhône. Le marquage d'un fleuve de débit aussi élevé que le Rhône étant exclu, le C.E.N.G., chargé des traçages, a disposé et maintenu sous voile étanche une rampe d'injection contre la berge. Une série de sept piézomètres, le plus près possible de la zone d'injection, avaient été préalablement foncés pour suivre l'arrivée des traceurs et l'évolution de leur concentration. Deux substances ont été simultanément injectées dans la rampe sous bâche :

- le "bon" traceur (NaI) sans interaction avec le sédiment,
- le traceur métallique ($Zn\ Cl_2$) connu préalablement pour son aptitude à interagir avec les sédiments.

Le retard à l'arrivée du zinc et le rapport des concentrations, mesurées à celles injectées, devaient permettre de quantifier les masses retenues par la berge et de préciser le mécanisme de réaction.

Cette expérimentation, effectuée dans différents régimes hydrauliques, devra être également menée après décapage de la berge.

Dès le premier traçage, des échantillons d'eau et de sol, ont été prélevés avant et après injection en vue d'analyses et d'essais statiques et dynamiques en laboratoire.

Les résultats actuellement disponibles montrent que le zinc présente une très forte affinité pour les sédiments fins et argileux, rencontrés au droit de la zone marquée. Cela n'est pas une nouveauté. Ce qui est nouveau par contre, c'est qu'il semble que d'une part il soit arrêté dès les premiers décimètres de la berge et que d'autre part il se fixe sélectivement sur les hydroxydes de fer et de manganèse : environ 50 ou 70 %.

L'iodure de sodium quant à lui, n'a pas été décelé dans les eaux prélevées, soit qu'il ait suivi un cheminement préférentiel ne passant pas par les piézomètres, soit que sa concentration dans la nappe ait été trop faible (effet de dilution).

Cela ne permet cependant pas de conclure à l'invulnérabilité des captages vis à vis de cet élément (ou ceux auxquels il s'apparente), en raison de la faiblesse de l'écoulement de la zone testée. Par ailleurs, on ne peut préjuger des résultats d'un multitraçage qui devra, sans doute à terme, être envisagé.

Face à ces résultats, il a été décidé de s'adresser à un autre site proche du précédent mais différent dans sa configuration puisqu'il s'agit du bassin d'infiltration réalimentant le champ à partir des eaux du Rhône. Ce site devrait autoriser une meilleure maîtrise du phénomène de colmatage puisque le bassin est régulièrement curé.

2 - Qualité des eaux souterraines : nitrates

RS 2049

Procédé de dénitrification des eaux souterraines. Expérimentation de Messac, Ille-et-Vilaine

A groundwater denitrification process. Experimentation at Messac, Ille-et-Vilaine Department

A. BOUSSAID*
A. LANDREAU
G. MARTIN*
H. TALBO

Action concertée Commission des Communautés Européennes - Contrat ENV 740 F et Ministère de l'Environnement (Service de l'Eau) - Contrat n° 13.84

La dénitrification provoquée des eaux est une des solutions qui, à court terme, permet de distribuer à des fins alimentaires et domestiques des eaux dont la teneur, à l'origine, est supérieure au seuil de 50 mg/l.

Une enquête du Ministère de la Santé (1981) montre que ce sont surtout les petites unités qui sont concernées par des teneurs en nitrates supérieures à cette norme. Ainsi, en 1981, 67 % des unités touchées distribuaient moins de 250 m³/j.

Depuis 1983, le B.R.G.M. avec la collaboration du Laboratoire CNGE expérimente un procédé "rustique" susceptible d'être adapté à cette gamme de débit. Son principe ainsi que les principaux résultats obtenus au cours des années 1983 et 1984 sont décrits dans les "Principaux résultats scientifiques et techniques" du B.R.G.M. (année 1984 - RS 1833).

Cette recherche bénéficie des financements suivants :

- Ministère du Redéploiement Industriel,
- Ministère de l'Environnement (Service de l'Eau),
- Commission des Communautés Européennes.

PRINCIPAUX RESULTATS OBTENUS AU COURS DE L'ANNEE 1985

Les expérimentations menées sur le site au cours de l'année 1985 ont eu pour objectifs essentiels de montrer :

- que le comportement du procédé (abaissement de la teneur en nitrate de l'eau pompée) n'est pas modifié par des débits de pompage plus importants que ceux expérimentés jusqu'alors ;

- qu'à terme, c'est-à-dire à l'issue de 2 ans de fonctionnement, le procédé n'altère pas la qualité de l'eau (présence de germes pathogènes, excès de nitrates ou de matières organiques).

Parallèlement à l'expérimentation en vraie grandeur, se sont poursuivis en laboratoire des essais destinés à améliorer la connaissance sur les mécanismes de dénitrification mis en jeu.

Au cours de l'année 1985, le procédé a fonctionné en continu pendant 250 jours à un débit de 11 m³/h dont 3 sont dérivés sur les réacteurs. Ce débit pompé correspond au créneau visé par ce procédé de dénitrification, à savoir l'alimentation de collectivités dont les besoins journaliers en eau sont inférieurs à 500 m³ (petites collectivités rurales les plus fréquemment concernées par la pollution "nitrates" et peu justiciables d'usines de traitement des eaux, pour des raisons financières).

Le procédé employé a permis de maintenir la concentration en nitrates de l'eau du forage aux alentours de 45 mg/l (norme de potabilité 50 mg/l) alors que l'eau de la nappe a une concentration d'environ 60 mg/l (fig. 1). A la sortie des réacteurs, l'eau partiellement dénitrifiée (10-20 mg/l en sortie et ∿ 45 mg/l en entrée) contient des bactéries, des matières organiques et un peu de nitrites. Cette eau, impropre dans cet état à la consommation, est filtrée à travers une zone non saturée pour lui permettre de s'affiner et retrouver des caractères conformes aux normes de potabilité. C'est ainsi qu'après un total de 410 jours de fonctionnement (années 1984 et 1985) et une quantité infiltrée d'eau dénitrifiée d'environ 20.000 m³, il n'a été observé aucun indice de contamination pour l'eau du forage dont la qualité physico-chimique et bactériologique est restée identique à celle de la nappe située en amont hydraulique de ce forage.

Parallèlement à l'expérimentation en vraie grandeur se sont déroulés en laboratoire des essais pour améliorer la connaissance des mécanismes de dénitrification mis en jeu. Ces essais ont notamment porté sur l'utilisation de substances dénitrifiantes pour lesquelles la biodisponibilité de la cellulose est différente. La fig. 2 fait apparaître tout l'intérêt d'utiliser un support car-

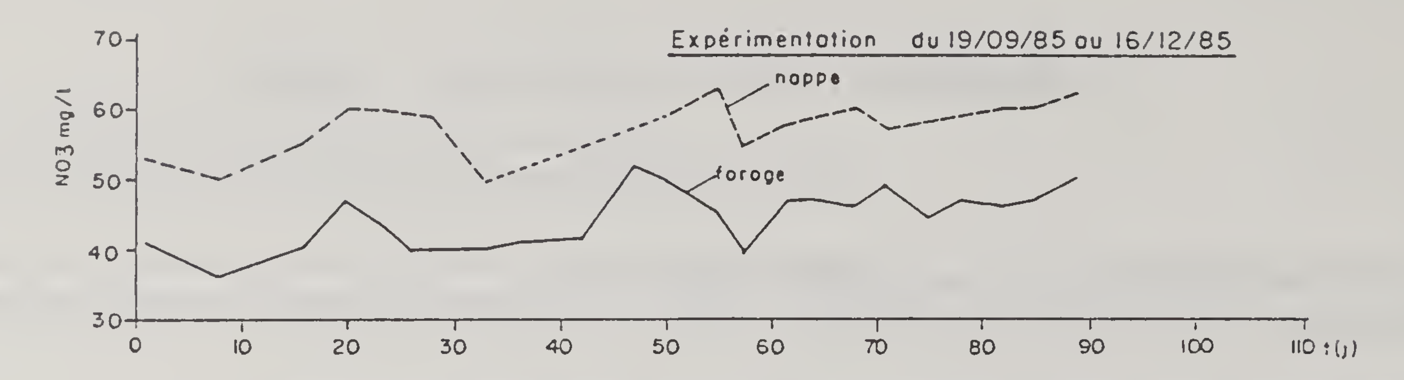


Figure 1 - Comparaison entre la teneur en nitrates au forage central (F_D) et dans la nappe

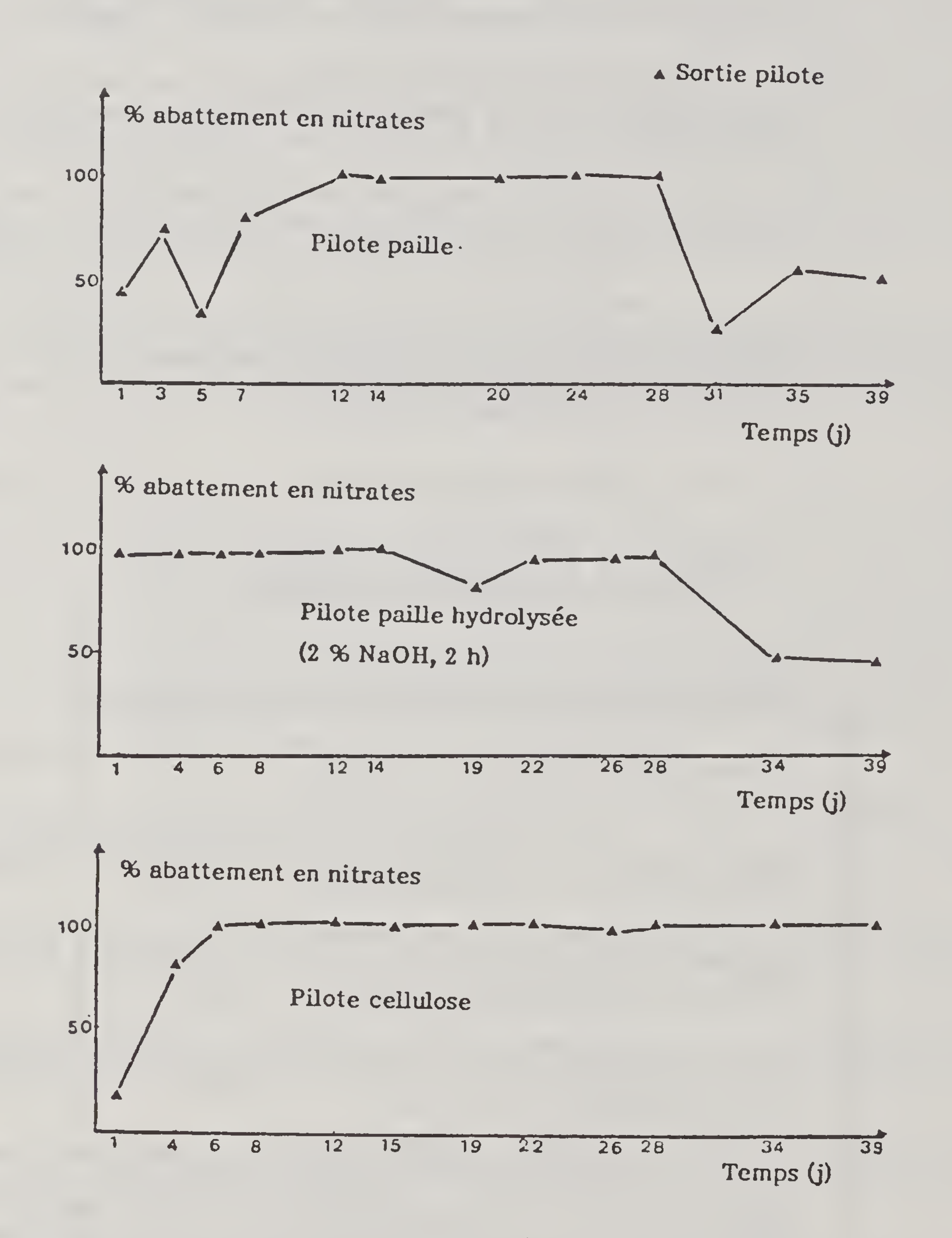


Figure 2 - Evolution de l'abattement en nitrates sur pilotes paille, paille hydrolysée, cellulose, pour une vitesse de passage de 0,3 m/h et concentration initiale de l'eau en nitrates d'environ 100 mg/l

boné dont les constituants cellulosiques sont aisément accessibles aux micro-organismes cellulolytiques et dénitrifiants. Le tableau 1 donne les différentes constantes de la cinétique de dénitrification pour de la paille ayant subi différents traitements plus ou moins poussés afin d'éliminer une partie de la lignine. Les résultats obtenus font clairement apparaître l'importance de la biodisponibilité de la cellulose sur le rendement de la réaction de dénitrification.

Substrat utilisé	Paille broyée	Paille broyée et lavée	Paille broyée et traitée à la soude	Paille broyée, traitée à la soude puis lavée
Constante de vitesse (mg/l).h^{-1}	3,4	4,5	8,75	9,4

Tableau 1 : mesure des constantes de vitesse avec différents traitements du matériau paille

A l'issue de la phase de recherche (1983-1985), il apparaît que le procédé expérimenté peut déboucher sur des applications industrielles moyennant une étape intermédiaire de développement.

REFERENCE :

F. BOUSSAID - 1985 - Dénitrification des eaux à l'aide d'un substrat carboné solide DEA des Sciences de l'eau - Université de Rennes

LANDREAU A. et al. - 1985 - Dénitrification in situ à l'aide d'un substrat carboné - Congrès international "Les nitrates dans les eaux" - 22/24 Octobre 1985 Paris

LANDREAU A. et al. - 1986 - Procédé de dénitrification des eaux souterraines en vue de leur potabilisation - Rapport BRGM 86 SGN 091 EAU

* Ecole Nationale Supérieure de Chimie de Rennes. Laboratoire de Chimie des Nuisances et Génie de l'Environnement (CNGE)

RS 2050

Etude des phénomènes de dénitrification naturelle dans les aquifères

Study of natural denitrification processes in aquifers

P. CAULIER
A. LANDREAU
A. MARIOTTI*
B. SIMON*

Action concertée Comité Eau n° 84.087 et 84.234

Des phénomènes de dénitrification naturelle ont été étudiés sur l'aquifère de la craie dans la région de Douai (Nord de la France). La craie est localement recouverte d'un revêtement tertiaire qui permet de définir des secteurs où la nappe est libre et des secteurs où elle est captive. Le Service Géologique Régional du "Nord/Pas-de-Calais" du B.R.G.M., au cours de l'étude de cette nappe a pu mettre en évidence dans un certain nombre de forages, une évolution tout à fait particulière des concentrations en nitrates (cf. RS n° 2831, année 1984). Quelques uns de ces forages exploités sont situés de part et d'autre de la limite de captivité (figure 1). L'épaisseur du recouvrement tertiaire est de l'ordre de 8 à 10 m et la zone crépinée des forages est toujours située dans la craie. D'une façon systématique, les teneurs en nitrates et les concentrations en oxygène dissous sont élevées dans le secteur où la nappe est libre et s'abaissent considérablement en nappe captive (BERGER et al., 1984).

Deux hypothèses peuvent contribuer à interpréter ces variations :

- on est dans une zone d'affrontement de deux types d'eaux (et de minéralisation de ces eaux) différents : l'un alimenté en nitrates par les contaminations de la surface (zones agricoles et urbanisées), l'autre où la protection par la couverture tertiaire empêche ou réduit très fortement la contamination par ces nitrates,
- on assiste à un processus d'évolution des nitrates au passage nappe libre/nappe captive, tel que le confinement en nappe captive provoque successivement la consommation de l'oxygène dissous, puis la dénitrification (réduction de NO_3^-).

Cette deuxième hypothèse semble plausible sur le plan hydrodynamique car le champ étudié (forages 51 à 55 sur la figure 1) dont le débit de pompage global est très élevé, détermine un cône de dépression important attirant en zone captive les eaux de la nappe depuis la zone libre.

L'ambiguité entre ces deux hypothèses semble pouvoir être levée de façon simple et rapide par l'examen des compositions isotopiques des nitrates obtenus sur les forages après pompage prolongé.

Si on considère une réaction simple unidirectionnelle de dénitrification, le calcul prévoit que l'évolution du $\delta^{15}N$ (*) du substrat de cette réaction, soit δ, est une fonction simple du rapport Q/Qo, où S est la quantité (ou la concentration du substrat) au temps t, Qo celle du temps 0, avant que la dénitrification ne débute. Si δo est la composition isotopique du substrat à t = 0, on a :

$$\delta = \delta_o + \varepsilon . \ln (Q/Q_o)$$

Le $\delta^{15}N$ du substrat au cours de la réaction évolue donc proportionnellement au logarithme de sa fraction qui n'a pas réagi (Q/Q_o) et le facteur de proportionnalité, ε, est une grandeur importante : c'est le coefficient d'enrichissement isotopique de la réaction, lui-même lié de façon simple au rapport des constantes de vitesse des deux espèces isotopiques.

(*) $$\delta^{15}N = \left[\frac{^{15}N/^{14}N \text{ éch.}}{^{15}N/^{14}N \text{ étalon}} - 1\right] \times 100$$

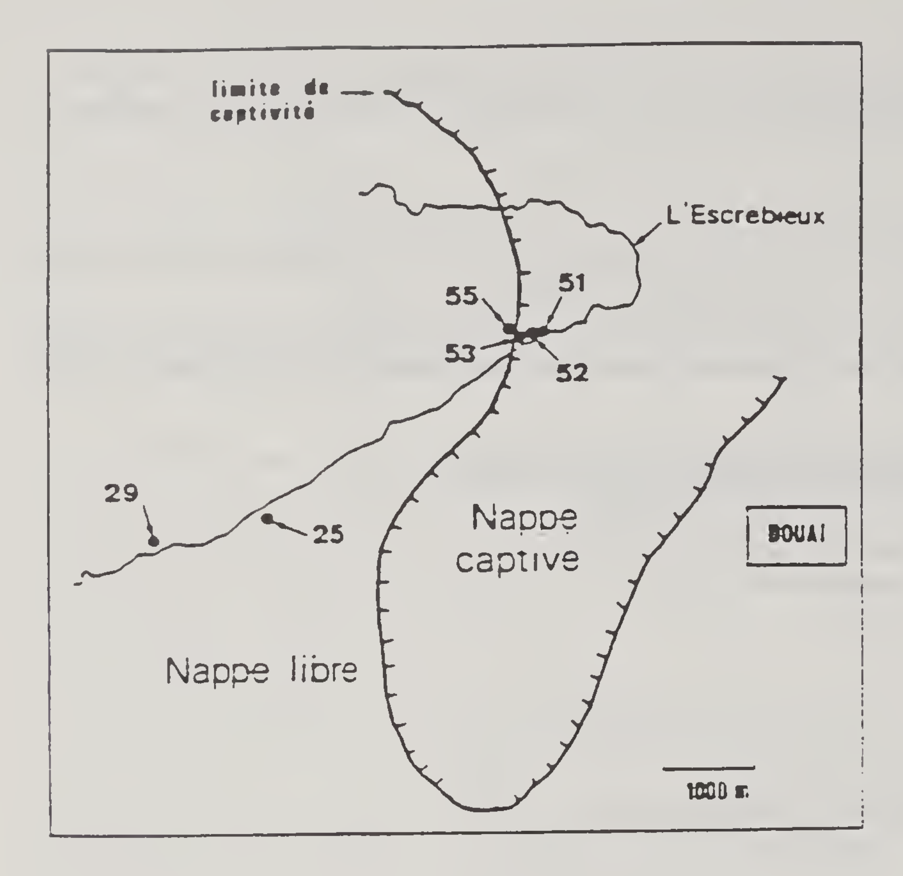


Fig. 1 : nappe de la craie dans la région de Douai. Localisation des captages (numérotés) et limite de captivité de la nappe.

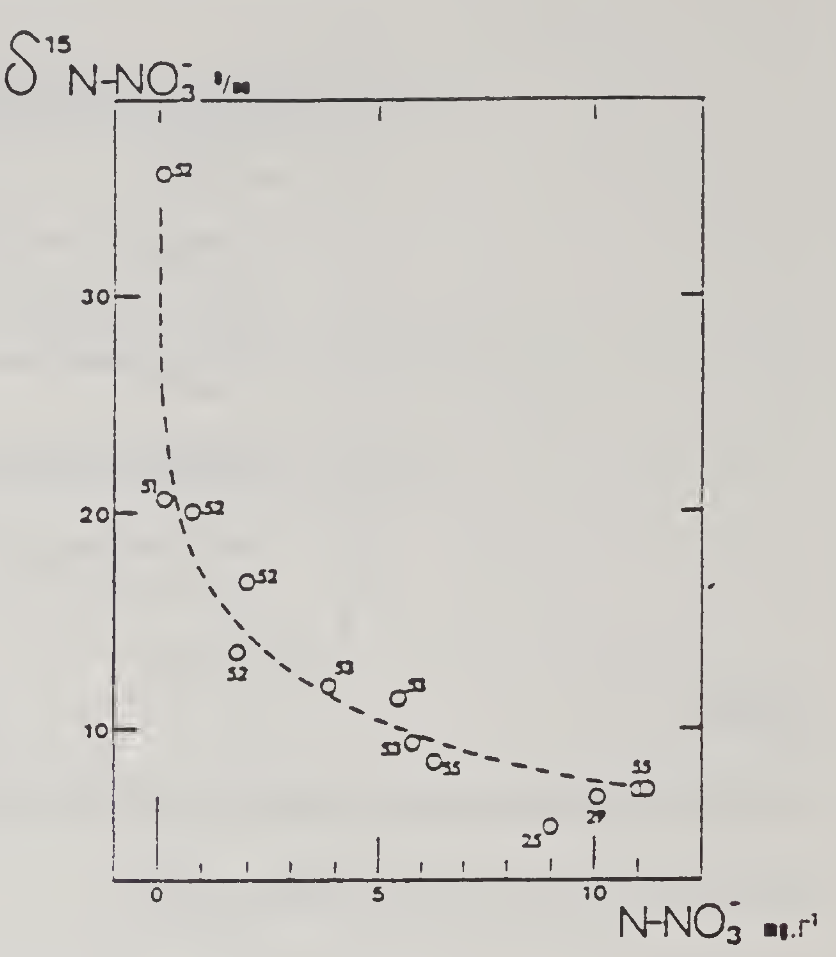


Fig. 2 : nappe de la craie. Diagramme $\delta^{15}N$ NO_3^- concentration en azote nitrique. Les numéros correspondent aux captages et renvoient à la figure 8.

Six forages de la région de Flers en Escrebieux (Nord) ont été suivis (figure 1) dont deux sont situés nettement en nappe libre (forage 25 et 29), les quatre autres (51 à 55) appartiennent à un champ captant situé sur la limite de captivité. Chacun de ces forages a fait l'objet de plusieurs prélèvements. D'une façon générale, les teneurs en nitrates sont élevées en nappe libre (autour de 10 mg d'azote nitrique par litre) et s'abaissent extrêmement rapidement dès la limite de captivité franchie. Quelques centaines de mètres à l'intérieur de la zone de captivité, les concentrations peuvent tomber à moins de 0,1 mg/l $N-NO_3^-$. De plus, sur le diagramme $\delta^{15}N$ – concentration en nitrate de la figure 2, on observe, sur cette zone, une très significative augmentation exponentielle du contenu en ^{15}N des nitrates avec la diminution de la concentration. Sur au moins un des puits, la composition isotopique atteint 35 ‰ (avec une concentration en $N-NO_3^-$ de 0,07 mg/l). Sans ambiguité cette observation permet de caractériser l'existence au passage de la limite de captivité, d'une dénitrification pouvant être quasi totale. En effet, une simple dilution d'eau chargée en nitrates dans des eaux très peu ou pas chargées (hypothèse 1 ci-dessus) ne devrait entraîner aucune modification notable de la composition isotopique du mélange.

Si la dénitrification sur cet exemple semble clairement mise en évidence, le mécanisme du processus, lui ne peut être déduit du suivi de la composition isotopique. S'agit-il d'un processus bactérien (hétérotrophe ou chemiolithotrophe) ou purement chimique ?

Des observations identiques ont été faites sur d'autres sites de la région. L'étude de ceux-ci, en cours, devrait apporter des compléments d'information (B. SIMON, thèse de 3ème cycle en cours) sur cette dénitrification, mise en évidence ici par le traçage isotopique naturel.

REFERENCE :

BERGER C., CAULIER P., LANDREAU A., MAZENC B. - 1984 - Dénitrification naturelle dans les aquifères captifs. Symposium international AIH, 21/23 Mai 1984 - Montréal - Canada

MARIOTTI A., LANDREAU A. - 1985 - Etude de transfert et de l'évolution des nitrates dans les aquifères au moyen du traçage isotopique naturel ^{15}N - Congrès international "Les nitrates dans les eaux" 22/24 Octobre 1985 - Paris

* Laboratoire associé INRA - Université - Université Paris VI

RS 2051

Ville de Berck-sur-Mer (Pas-de-Calais). Champ captant d'Airon-Saint-Vaast. Etude des moyens destinés à réduire la teneur en nitrates des eaux souterraines prélevées. Deuxième partie : Etude de la nappe d'eau souterraine

Airon-Saint-Vaast well-field, Berck-sur-Mer (Pas-de-Calais Department). Investigation into ways of reducing the nitrate content of sampled groundwater. Part two: groundwater study

P. CAULIER
Ch. PREAUX

Suite à la brusque augmentation des teneurs en nitrates entre la fin 1978 (32,2 mg/l) et 1981 (49 mg/l) la ville de BERCK-SUR-MER (Pas-de-Calais) qui exploite 4 forages à AIRON-SAINT-VAAST a demandé une étude afin de déterminer les causes et remèdes à cette pollution. Membre d'un groupement de quatre intervenants (I.S.A., I.N.R.A., S.R.A.E., B.R.G.M.), le Bureau de Recherches Géologiques et Minières a été plus spécifiquement chargé de l'étude de la nappe d'eau souterraine.

Les travaux réalisés (foration de 13 piézomètres, établissement de carte piézométrique, chimique, de transmissivité, de profondeur de nappes, bilan d'azote entrée/sortie ...) ont conduit à déterminer la cause essentielle des teneurs importantes en nitrates dans l'eau prélevée. Il s'agit de l'activité agricole amplifiée par le phénomène de ruissellement sur des terrains battants et sableux.

De ce fait, les mesures proposées concernent essentiellement la lutte contre le ruissellement avec des effets à long terme. De plus, des analyses de terrains ont souligné l'importance du stock d'azote en transit.

Toutefois, une variation de modalités d'exploitation est proposée afin de solliciter davantage un ouvrage moins sujet à l'impact du ruissellement. L'implantation d'un nouveau forage est également suggérée.

REFERENCE :

CAULIER P. et PREAUX Ch. - Ville de BERCK-SUR-MER (Pas-de-Calais) - Champ captant d'AIRON-SAINT-VAAST - Etude des moyens destinés à réduire la teneur en nitrates des eaux souterraines prélevées - deuxième partie - Etude de la nappe d'eau souterraine. Rapport B.R.G.M. 85 SGN 212 NPC.

RS 2052

Etude d'une série de teneurs afin de déterminer une fréquence de prélèvements "optimale"

Study of hydrochemical time series to determine an optimal sampling frequency

J.J. SEGUIN

Bien souvent, en hydrochimie, la fréquence de prélèvements d'échantillons d'eau est fixée de manière plus ou moins arbitraire, avec un réajustement ultérieur éventuel, fonction des observations effectuées lors de la première année par exemple.

Pour le compte du Ministère de l'Environnement, une étude à caractère méthodologique a été entreprise pour déterminer sur des séries chronologiques de paramètres chimiques, une fréquence "optimale" de prélèvements.

L'exemple étudié se rapporte à une série constituée de mesures journalières de teneurs en nitrates ; l'échantillonnage a été réalisé à l'aide d'un préleveur automatique sur les eaux de la source de Champeaux en Seine et Marne durant l'année 1984.

La série retenue comprend 240 valeurs ; on y discerne une tendance à la baisse des teneurs au cours du temps (fig. 1). On a supposé que cette dérive observable pouvait être représentée par une droite et on a mis en oeuvre un "test d'hypothèse" relatif à la significativité du coefficient de régression des teneurs par rapport au temps ; on a ensuite utilisé la fonction de puissance du test pour déterminer un nombre de prélèvements "optimal" à un niveau de confiance donné.

Compte-tenu de l'interdépendance des observations constituant la série, il n'a pas été possible d'utiliser dans l'application du test le nombre

d'observations effectif ; un nombre "équivalent" a donc été calculé en recourant aux hypothèses et techniques du domaine de l'analyse des séries temporelles.

Muni de ce nombre équivalent, on a pu alors représenter la variation de la puissance du test en fonction de l'intervalle d'échantillonnage (fig. 2). On constate que la probabilité de détecter la dérive, donnée par la puissance du test, diffère notablement suivant le risque d'erreur α que l'on s'est fixé pour le test. Du point de vue de "l'optimisation" envisagée, il est intéressant de noter que la probabilité de détection de la dérive reste forte dans le cas d'un intervalle d'échantillonnage de 10 jours, soit : 90 % environ au seuil de 5 % et 80 % au seuil de 1 %. Cet intervalle peut donc être considéré comme un objectif d'échantillonnage pour une telle série.

Toute série chronologique de teneurs présentant une tendance linéaire (croissante ou décroissante) peut être ainsi étudiée ; en particulier la méthode exposée peut s'appliquer à une série de teneurs calculées à l'aide d'un modèle sur une période de temps à venir ; il devient alors possible de prédire la fréquence "optimale" d'échantillonnage au point considéré.

REFERENCE :

SEGUIN JJ. - Etude de la variabilité des teneurs en nitrates dans une nappe d'eau souterraine. Détermination d'une fréquence optimale de prélèvement. Note technique BRGM n° 85/27

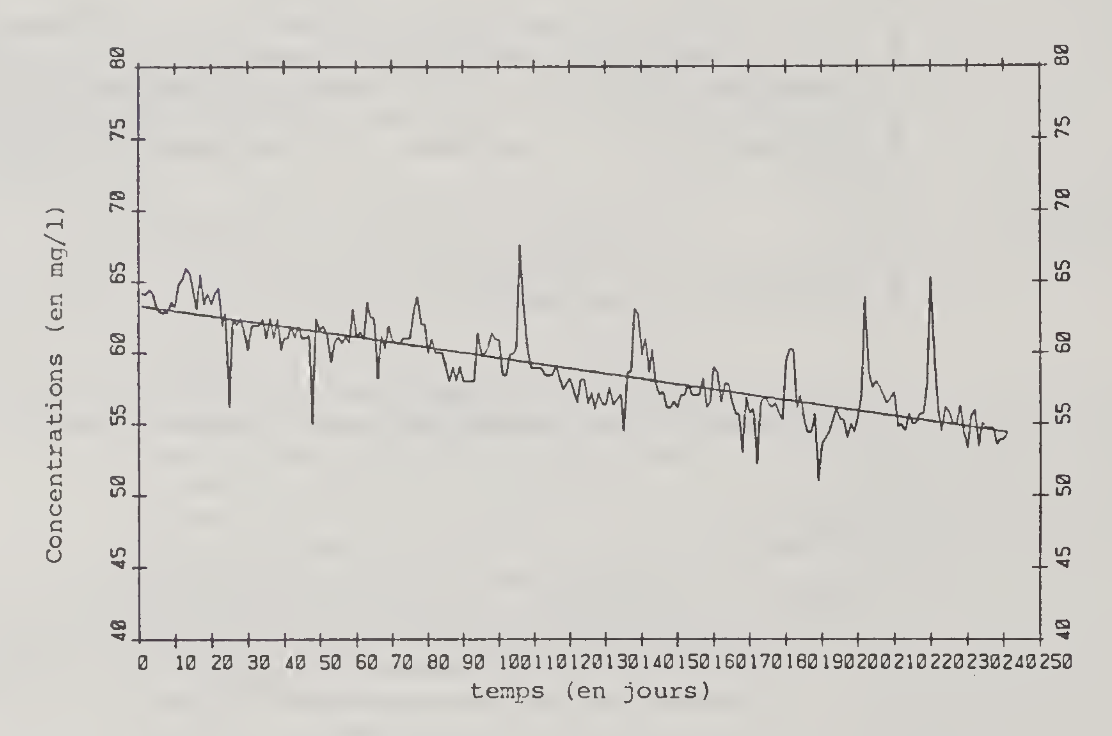


Figure 1 : variation des teneurs en nitrates de la source de Champeaux

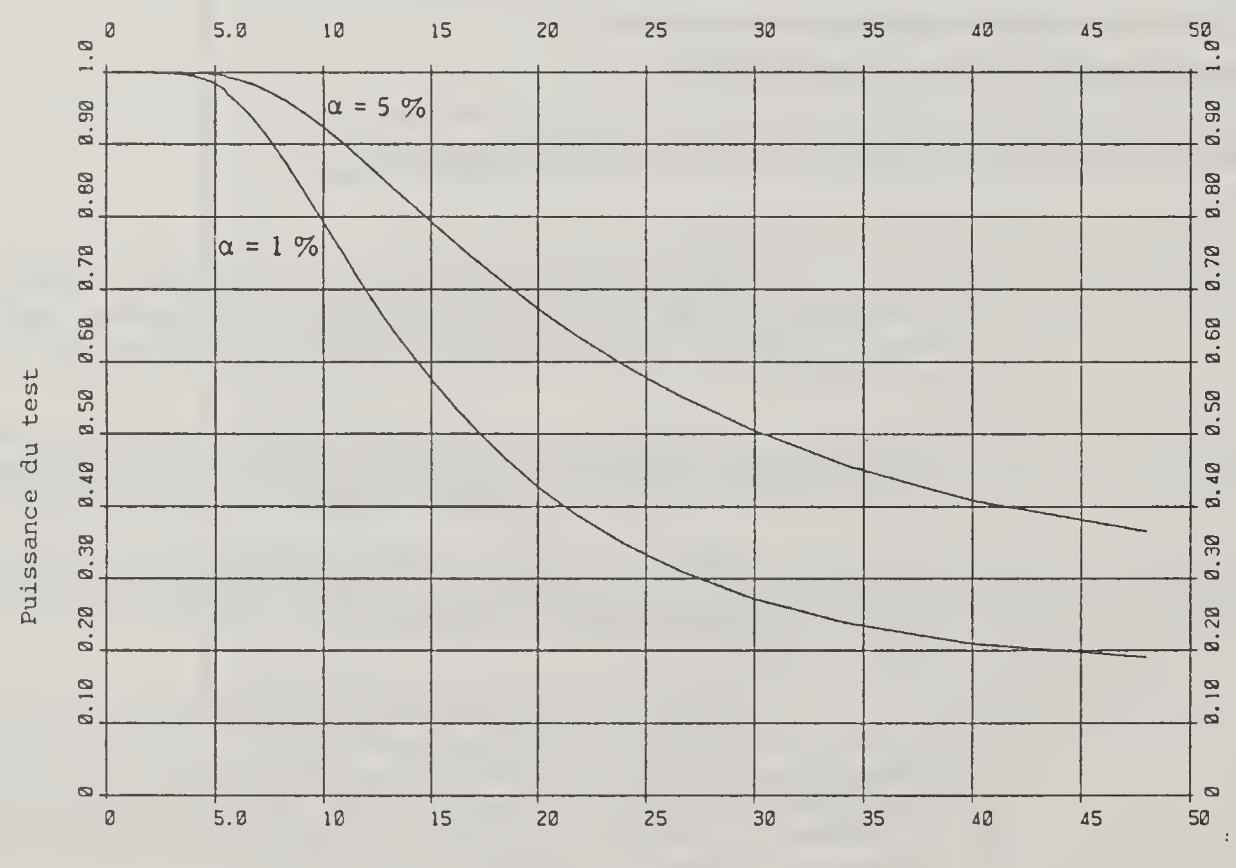


Figure 2 : puissance du test avec des risques d'erreur α = 5 % et α = 1 % en fonction de l'intervalle d'échantillonnage.

RS 2053

Prévision de l'évolution des teneurs en nitrates de la nappe de la craie dans les régions de grandes cultures du département de l'Eure

Forecast variation of nitrates in the chalk groundwater in the areas of extensive cultivation in the Eure department

D. JAUFFRET
J.J. SEGUIN
R. PANEL
J.P. HOLE
Ph. DE LA QUERIERE

Les teneurs en NO_3 des eaux de la nappe de la craie du plateau de SAINT-ANDRE sont voisines, ou même supérieures, à la Concentration Maximale Admissible (C.M.A) (50 mg/l) dans sa partie Ouest où la nappe est peu profonde (10 à 20m) et inférieures à cette C.M.A. dans sa partie Est où la nappe est profonde (60 à 80m).

Deux questions se posent alors :

. *dans les zones les plus gravement touchées, l'évolution défavorable de ces dernières années va-t-elle se poursuivre ?*

. *les zones actuellement préservées vont-elles le rester ou, au contraire, vont-elles atteindre la C.M.A., et si oui, dans quel délai ?*

Deux profils de teneur en nitrates de la zone non saturée ont été effectués par forages carottés sur deux parcelles cultivées du plateau de St-ANDRE : l'un dans sa partie Ouest, à ILLIERS-L'EVEQUE, l'autre dans sa partie Est, à MOUSSEAUX-NEUVILLE. Connaissant l'historique des pratiques culturales depuis onze ans à ILLIERS-L'EVEQUE et depuis vingt trois ans à MOUSSEAUX-NEUVILLE, disposant également des données climatologiques sur la région, on a utilisé le programme W.R.C. (*Water Research Center*) afin de prévoir l'évolution des nitrates mis en évidence dans la zone non saturée.

Dans les horizons superficiels constitués de formation résiduelle à silex de craie en cours de décalcification et de craie fissurée, les vitesses d'infiltration de l'eau atteignent plusieurs mètres par an et les teneurs en nitrates sont d'origine récente ; c'est le cas du site S1 à ILLIERS-L'EVEQUE où la nappe est peu profonde.

A MOUSSEAUX-NEUVILLE en site S2, la craie est affectée de diaclases jusqu'à 40m de profondeur, mais la vitesse chute à des valeurs de 2m/an ; il y a encore apports de nitrates récents, mais on observe une certaine atténuation de pics ; à partir de 40m, la vitesse diminue encore pour atteindre des vitesses inférieures à 0,50m /an à partir de 60m, calculées par le modèle W.R.C.

De ces faits, il ressort que la nappe à ILLIERS-L'EVEQUE peut voir son taux de nitrate baisser considérablement, par une modification des pratiques culturales, dans un délai rapide de 10 à 15 ans ; à MOUSSEAUX-NEUVILLE, les délais d'arrivée du front de nitrates à la nappe en admettant que ce front soit à 40m de profondeur, est compris entre 30 et 60 ans, soit deux à quatre fois le délai de lessivage de la zone superficielle de nappe. La contamination en nitrates de la nappe en zone profonde sera durable, mais son intensité sera amortie par des phénomènes de dispersion et de diffusion. Les phénomènes de variations piézométriques peuvent interférer sur les vitesses de progression du front et modifier ces délais.

REFERENCE : D. JAUFFRET - J.J. SEGUIN - R. PANEL - J.P HOLE - Ph. DE LA QUERIERE
Etude : 84 AGI 347 HNO -

RS 2054

Prévision de l'évolution des concentrations en nitrates dans une source

Forecast of the variation of nitrate contents in a spring

D. THIERY
J.J. SEGUIN

Un modèle global de bilan entre les quantités de nitrates apportées (épandage), consommées (plantes) et infiltrées (pluies efficaces) a été réalisé afin de simuler en continu l'évolution des concentrations en nitrates à l'exutoire d'un bassin versant hydrologique. Ce modèle appelé BICHE (BIlan CHimique dans les Ecoulements) permet de réaliser des prévisions de concentration à long

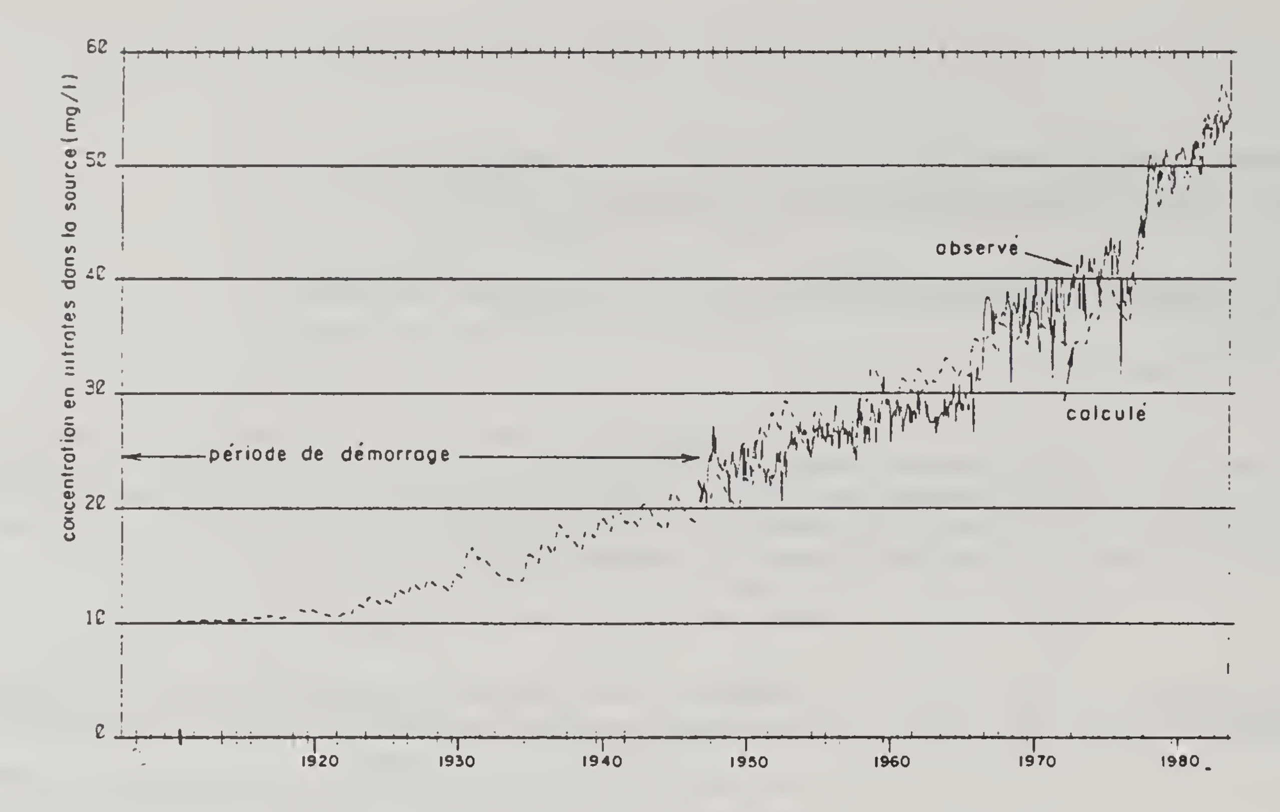


Fig. 1 : Ajustement du modèle BICHE sur les concentrations en nitrates de 1947 à 1983

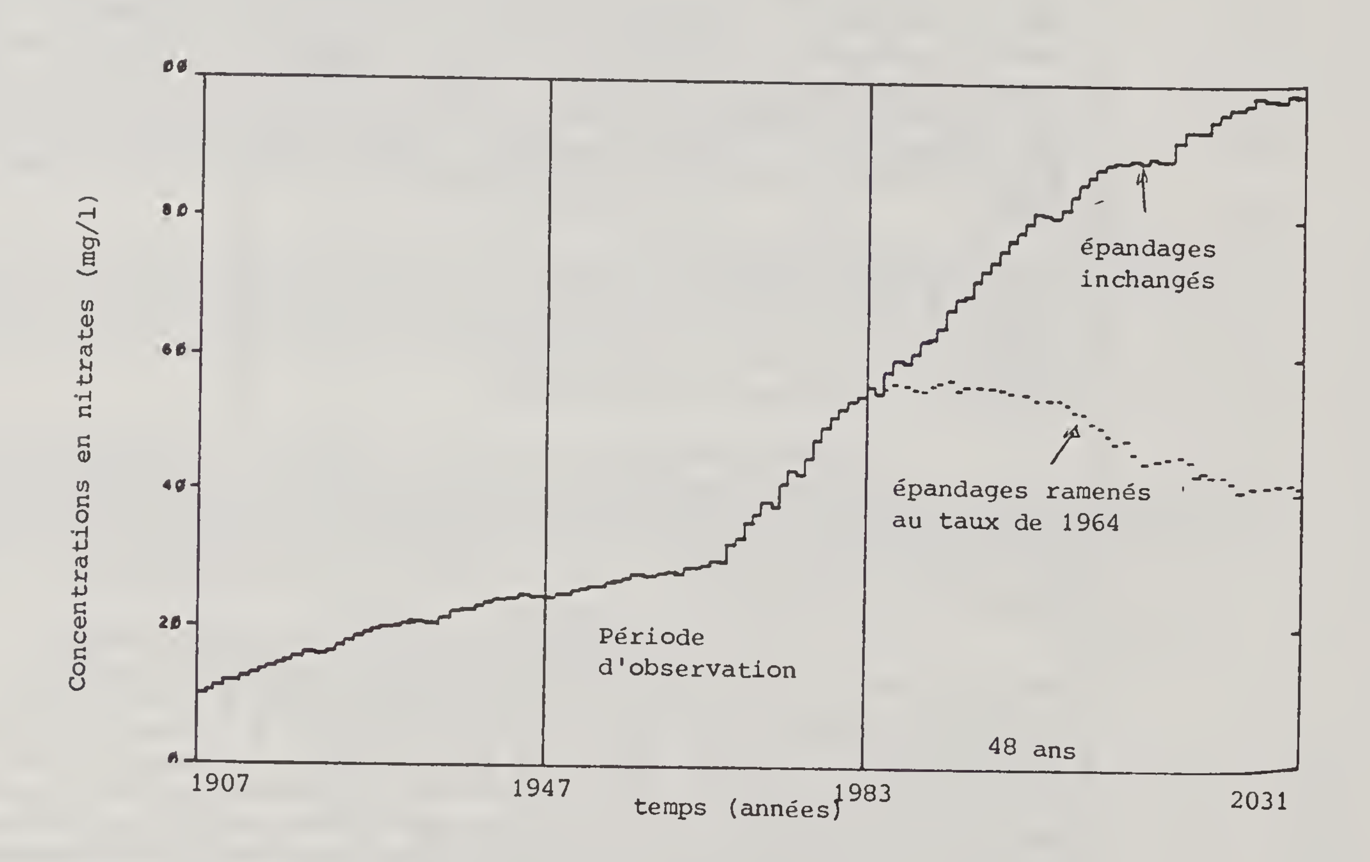


Fig. 2 : Simulation pendant 48 ans de 2 scénarios après 1983

terme selon différents scénarios d'épandage. Une application intéressante a été faite sur le site des sources de la Voulzie qui sont utilisées pour l'alimentation en eau de la ville de Paris. Le modèle a été ajusté sur les pluies, les débits et les concentrations en nitrates mesurés (ou interprétés) mois par mois pendant 37 ans, de 1947 à 1983. Il a alors été utilisé pour prévoir l'évolution des concentrations au cours des années à venir en supposant un scénario avec les mêmes cultures, les mêmes fertilisants et les mêmes pluies que ces 77 dernières années. Le modèle montre une stabilisation très lente : la concentration passerait de 55 mg/l en 1984 à 95 mg/l après 40 ans avant de se stabiliser vers 115 mg/l après 100 ans. Un second scénario montre que même en réduisant les épandages d'engrais pour les ramener à leurs valeurs de 1964 on observerait une stabilisation (à la valeur actuelle de 55 mg/l) pendant une quinzaine d'années avant que la concentration ne décroisse et atteigne 40 mg/l après 40 ans environ.

Le modèle BICHE est un logiciel facile à utiliser et nécessitant peu de données. Il permet d'émettre rapidement une prévision de concentration en faisant apparaître l'influence des précipitations (qui ne peut être ni modifiées ni prévues) et des épandages (qui peuvent être planifiés).

REFERENCE :

THIERY D. et SEGUIN JJ. - Modélisation globale des transferts de nitrates dans un bassin hydrogéologique pour prévoir l'évolution des concentrations dans

les eaux souterraines. Description du modèle BICHE. Trois exemples d'application. Rapport BRGM 85 SGN 663 EAU, décembre 1985

THIERY D. et SEGUIN JJ. - Un modèle hydrologique global de transferts de nitrates dans un bassin versant. Application aux sources de Provins et à la nappe de la Beauce à Pithiviers. Revue Hydrogéologique n° 1, 1986

RS 2055

Modélisation des transferts de nitrates dans un aquifère multicouche. Application à la Brie française (Seine-et-Marne)

Modeling nitrogen transfer in a multilayer aquifer system. Example of the Brie (Seine-et-Marne Department)

B. MAZENC

La connaissance de 15 années d'historique piézométrique et de 30 années de suivi chimique sur l'aquifère multicouche des Calcaires de Champigny (Brie Française) a permis de mettre en oeuvre le modèle BICHE * de simulation des concentrations en azote à l'exutoire d'un bassin versant hydrologique ou dans un piézomètre du bassin.

A l'aide du modèle, on a reproduit de façon correcte le comportement piézométrique (fig. 1) et l'évolution des concentrations en nitrates des différentes nappes libre (fig. 2) et semi-captive (fig. 3)) de l'aquifère étudié. A partir des paramètres obtenus lors de ces simulations "de calage", le modèle a été utilisé pour connaître les concentrations en nitrates dans les 15 années à venir selon trois scénarios d'évolution des excédents (différences entre apports en azote et consommation par les plantes) :

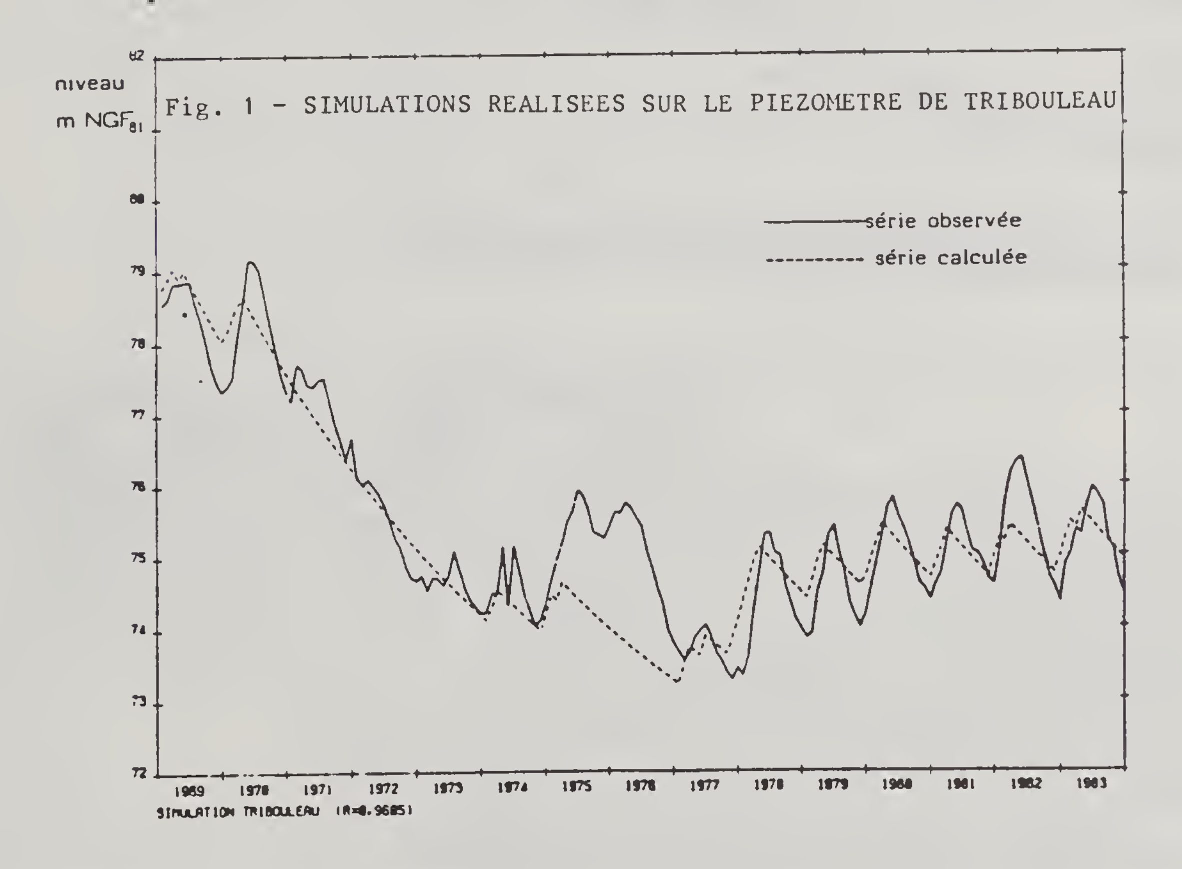


Fig. 1 - SIMULATIONS REALISEES SUR LE PIEZOMETRE DE TRIBOULEAU

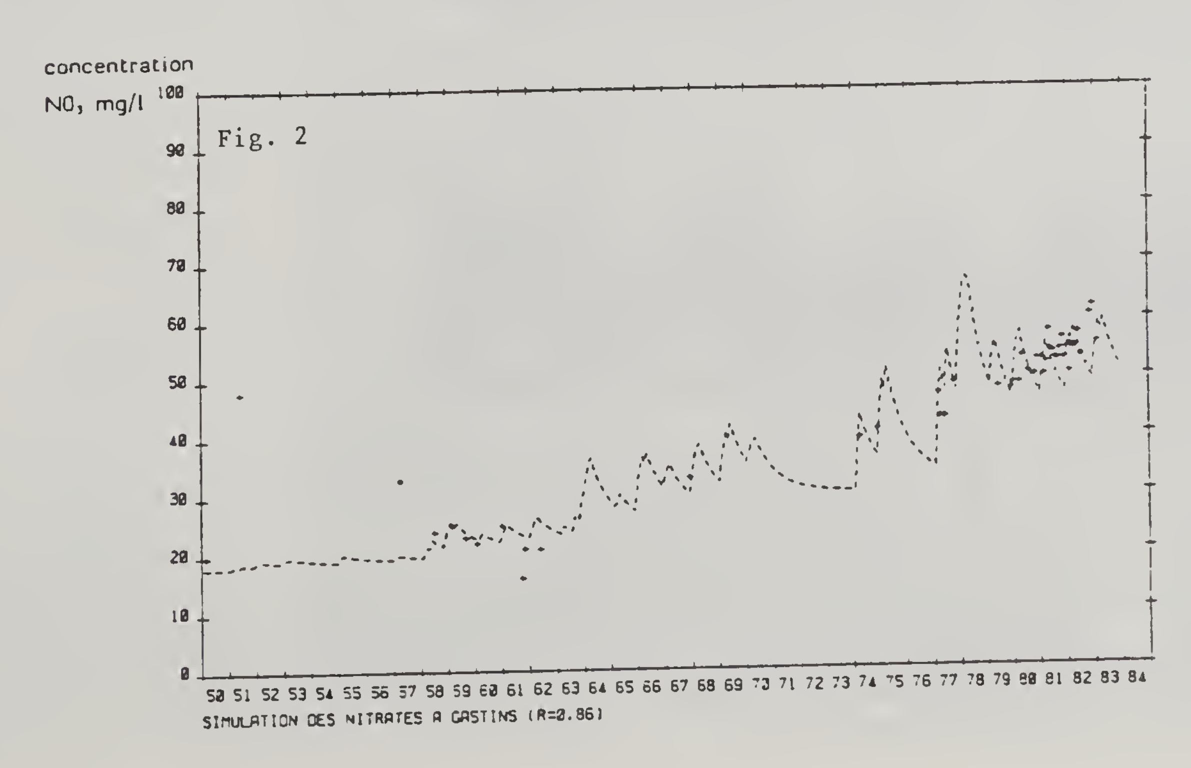
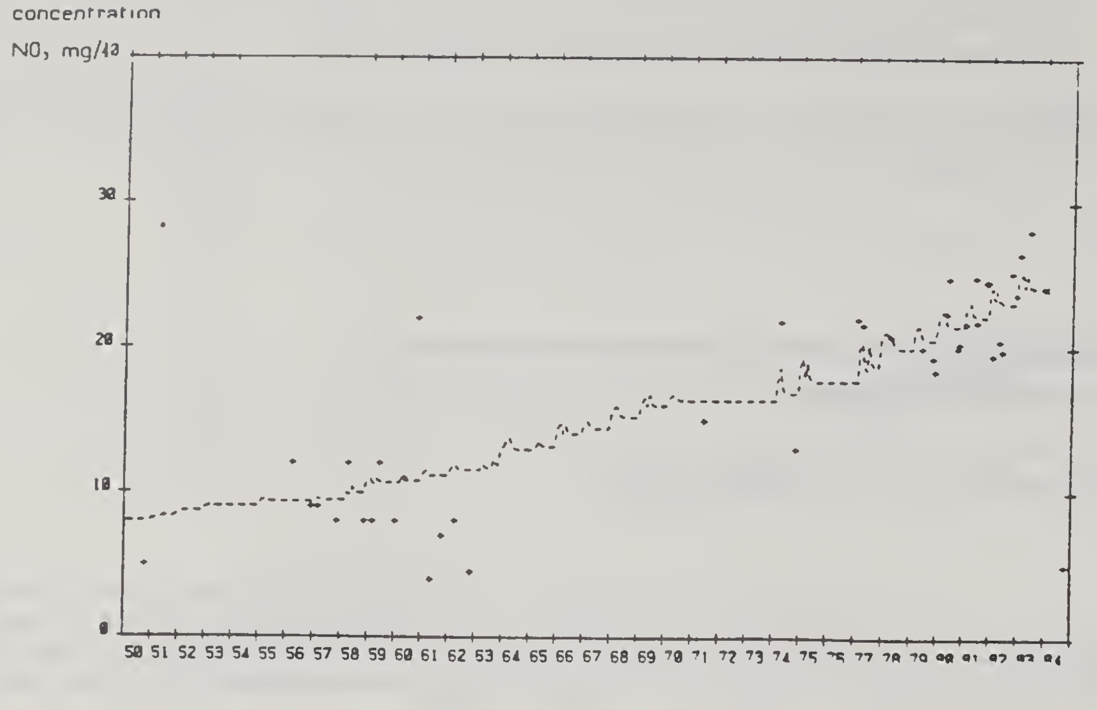


Fig. 2



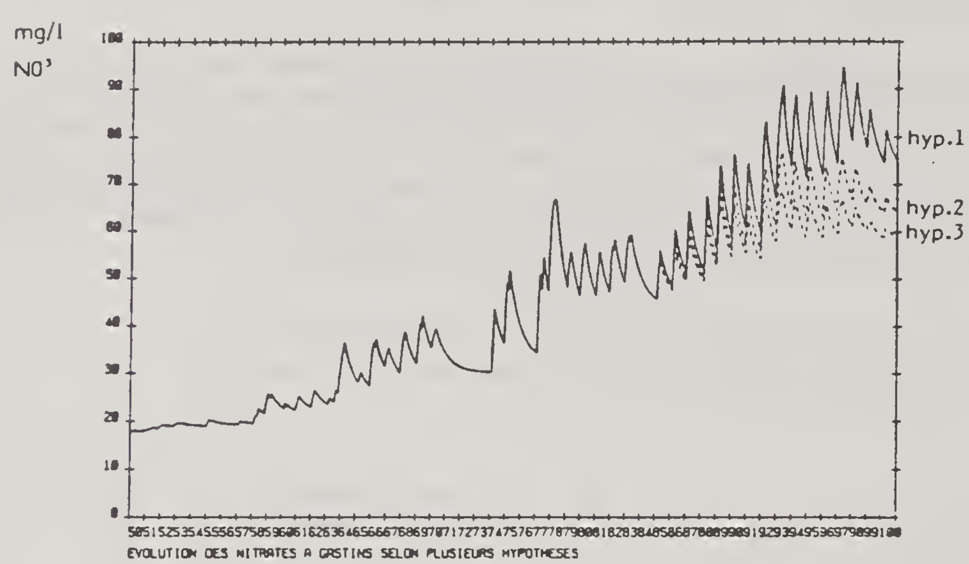
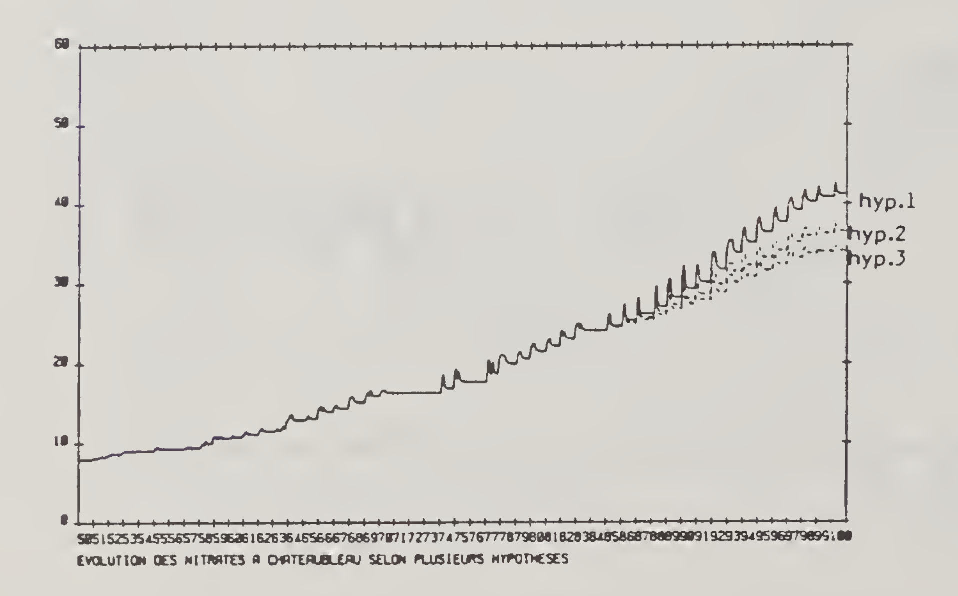
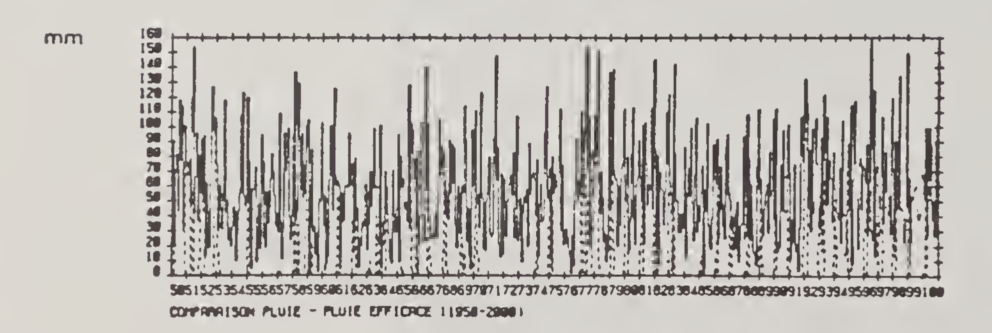


Figure 4 -
Simulation de l'évolution des nitrates à Gastins et Chateaubleau sur la période 1950 - 2000





- stabilité (par rapport aux données 1984),
- diminution de moitié,
- annulation.

Les simulations réalisées conduisent à une croissance régulière de la concentration en nitrates de l'aquifère, quelles que soient l'hypothèse envisagée et les valeurs obtenues, à la fin du siècle, seraient de l'ordre de 90 mg/l dans le cas de la nappe libre et de 40 mg/l dans le cas de la nappe captive (fig. 4).

REFERENCE :

MAZENC B. - Modélisation des transferts de nitrates dans un aquifère multicouche. Application à la Brie française (Seine-et-Marne). Rapport du B.R.G.M. 85 SGN 556 IDF.

* Modèle global à réservoir du B.R.G.M.

RS 2056

Protection des captages AEP et activités agricoles

Protection of water catchments and agricultural activities

G. RINCK
M. AHMEDI*

Les teneurs en nitrates ont fortement augmenté dans les eaux souterraines de la plaine d'Alsace, en particulier au cours de la dernière décennie où elles ont doublé en moyenne.

Au pied des collines sous-vosgiennes, en aval du vignoble, les teneurs en nitrates dépassent parfois le seuil de potabilité fixé à 50 mg/l de NO_3.

Dans le but de préciser les contraintes à imposer ou à préconiser à l'agriculture dans le cadre des périmètres de protection des captages AEP, un secteur d'étude pilote a été choisi, celui de Barr - Stotzheim.

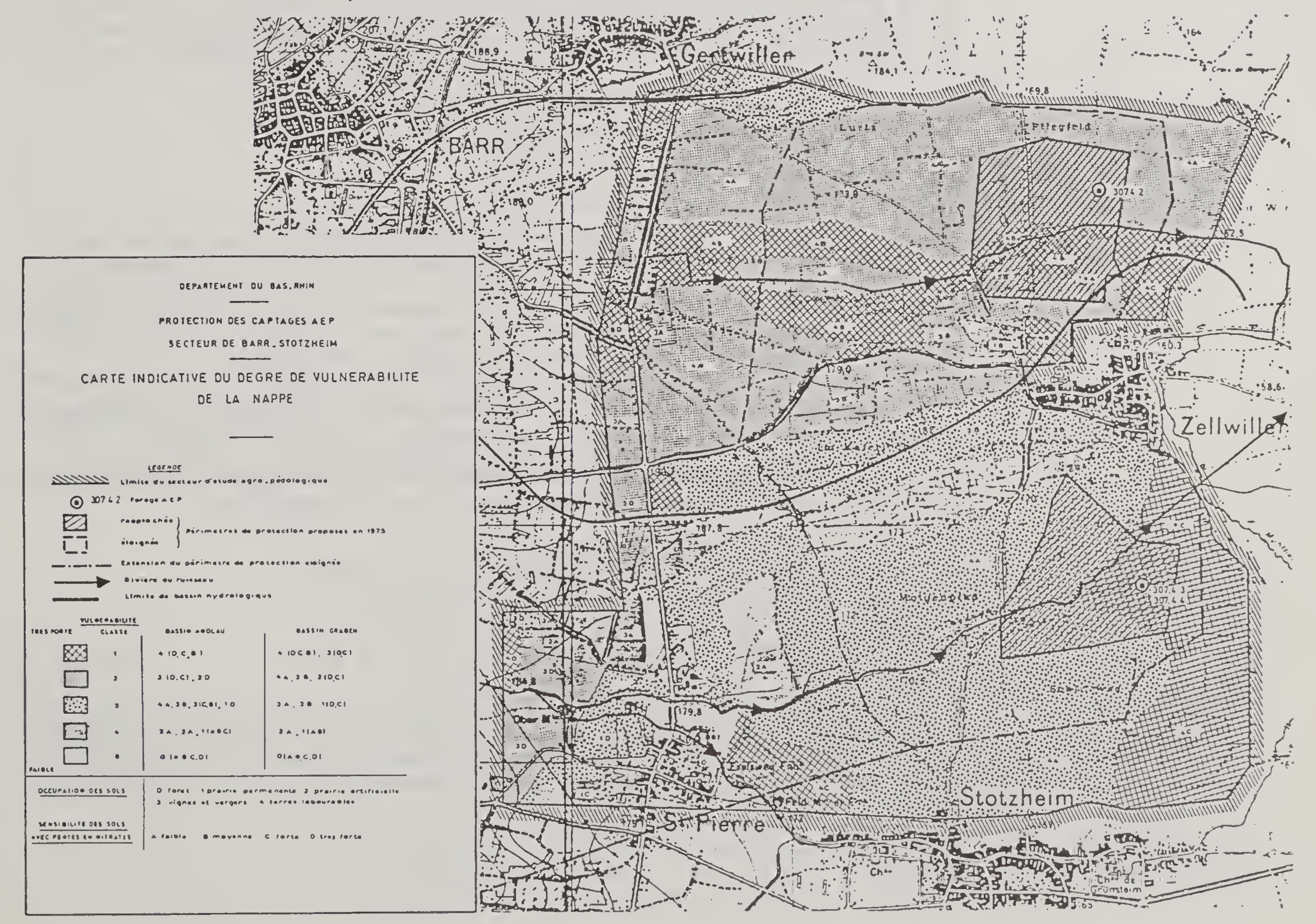
Une analyse des pratiques agricoles a été effectuée en collaboration avec la Chambre d'Agriculture et la Direction Départementale de l'Agriculture du Bas-Rhin, qui a abouti à une cartographie des sols en fonction de leur sensibilité aux apports nitratés.

Une carte du degré de vulnérabilité de la nappe alluviale aux pertes en nitrates par les sols en a été déduite.

Elle met en évidence la nécessité d'étendre certaines prescriptions concernant les activités agricoles soumises à réglementation dans les périmètres de protection, à un secteur plus étendu vers l'amont (zone B du périmètre de protection éloigné proposé).

L'efficacité d'une telle mesure repose sur une rationalisation de la fertilisation et sur une sélection des pratiques culturales.

+ Stagiaire E.N.I.T.R.T.S.



3 - Solutions hydrothermales. Interactions eau-roche

RS 2057

Etude expérimentale de la dissolution des minéraux sulfurés en milieu oxydant : application à la prospection minière

Experimental study of sulfide mineral dissolution in an oxidizing environment: application to mineral exploration

J.L. SEVEQUE
P. OUSTRIERE
J. BOULEGUE*

ATP CNRS N° 040196 GEOCHIMIE-METALLOGENIE 1983

Les premiers résultats sur la dissolution oxydante des minéraux sulfurés ont montré (SEVEQUE et al., 1984) que l'hydrolyse en milieu acide favorise la libération des métaux en solution et que le sulfate est l'espèce soufrée majeure.

En présence d'un tampon acido-basique - la dolomite dans nos expériences - la quantité totale de soufre dissous est plus importante, les espèces métastables du soufre en solution (thiosulfate, sulfite,...) s'accumulent, tandis que les éléments métalliques précipitent et sont par conséquent moins abondants dans les solutions de dissolution.

L'interprétation des données expérimentales en termes cinétiques permet de calculer des vitesses de dissolution différentes pour chacun des minéraux sulfurés. Dans les conditions expérimentales on obtient, par vitesse de mise en solution décroissante, la série suivante : galène, pyrite, sphalérite (Fig. 1).

Les mécanismes de mise en solution de la sphalérite et de la galène sont décrits par une attaque nucléophilique par l'oxygène hydrolysé après adsorption à la surface des minéraux. La loi de vitesse de ce mécanisme est décrit par :

$$\frac{\partial [Mes]}{\partial t} = \frac{k [O_2]}{[H^+]}$$

où $k = 1.48\ 10^{-10}$ à $2.85\ 10^{-10}$ moles. hrs^{-1}. m^{-2}. pour la sphalérite
$k = 3.59\ 10^{-10}$ moles. hrs^{-1}. $m.^{-2}$ pour la galène.

La mise en solution de la pyrite est limitée par une réaction de chimisorption où l'oxygène adsorbé réagit avec le soufre pyritique pour former un thiosulfate de fer, FeS_2O_3, qui désorbe ensuite. La loi de vitesse de ce mécanisme est décrit par :

$$\frac{\partial [FeS_2]}{\partial t} = k [O_2]^{0.8}$$

où $k = 1.17\ 10^{-4}$ moles $^{0.2}$. hrs^{-1}. m^{-2}.

La présence de dolomite lors de ces expériences d'oxydation des minéraux sulfurés n'a pas de conséquences sur ces mécanismes. Par contre, elle augmente les vitesses de mise en solution de ces minéraux sulfurés. Ainsi, la pyrite se dissout 3.5 fois plus vite en milieu alcalin tamponné ($k = 3.44\ 10^{-4}$ moles$^{0.2}$ hrs^{-1} $m.^{-2}$), les deux autres monosulfures se dissolvent de façon sensiblement plus rapide ($k = 4.26\ 10^{-10}$ moles. hrs^{-1}. m^{-2}. pour la sphalérite).

La présence d'un milieu alcalin tamponné favorise l'accumulation des espèces métastables du soufre. La neutralité acido-basique correspond sensiblement à la limite en deça de laquelle les espèces intermédiaires sont rapidement oxydées vers la forme stable du soufre en solution. Les lois de vitesse d'oxydation ont pu être déterminées en milieu basique, soit pour le thiosulfate :

$$\frac{\partial [S_2O_3^{2-}]}{\partial t} = k_1 [S_2O_3^{2-}][O_2]$$

et pour le sulfite

$$\frac{\partial [SO_3^{2-}]}{\partial t} = k_2 [SO_3^{2-}][O_2]$$

L'applicabilité de ces résultats a été testée sur la zone minéralisée de Porteaux-Moines (Côtes-du-Nord). La présence de thiosulfate dans deux des émergences analysées confirme la persistance d'espèces métastables du soufre en milieu naturel tamponné, en accord avec les études expérimentales.

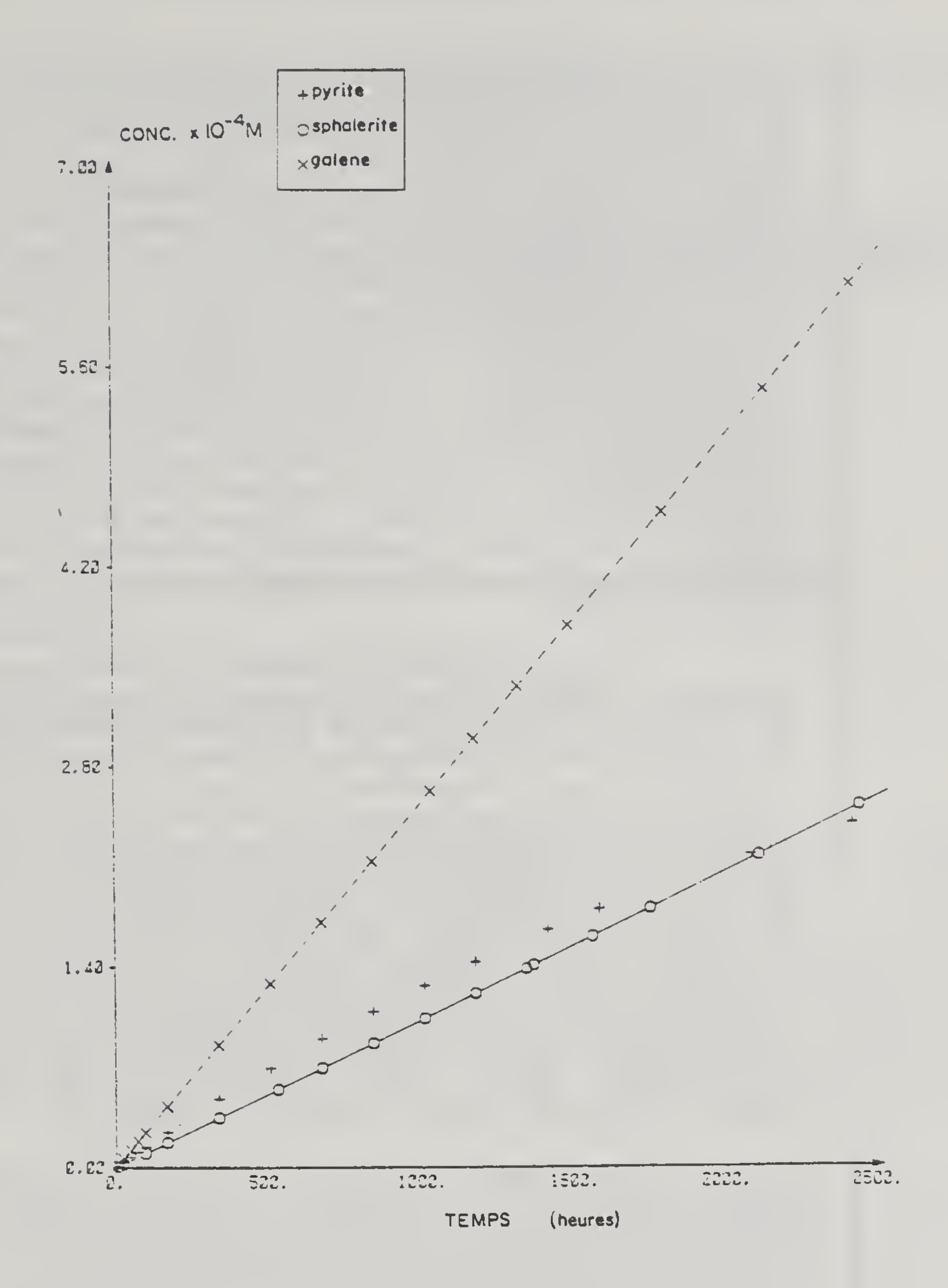


Figure 1. Vitesse de dissolution oxydante des trois minéraux sulfurés.

REFERENCES :

SEVEQUE J.L., OUSTRIERE P. et BOULEGUE J. - 1984 - Etude expérimentale de la dissolution des minéraux sulfurés : évolution des espèces métastables du soufre. Application à la prospection minière. Principaux résultats scientifiques et techniques du BRGM, résumé RS 1935, Pages 294-295.

* Laboratoire de géochimie et métallogénie, Université Pierre et Marie Curie.

RS 2058

Diagraphie géochimique des fluides de foration : exemple de sondages en milieu fissuré

Geochemical logging of drilling fluids: example of boreholes in fractured basement

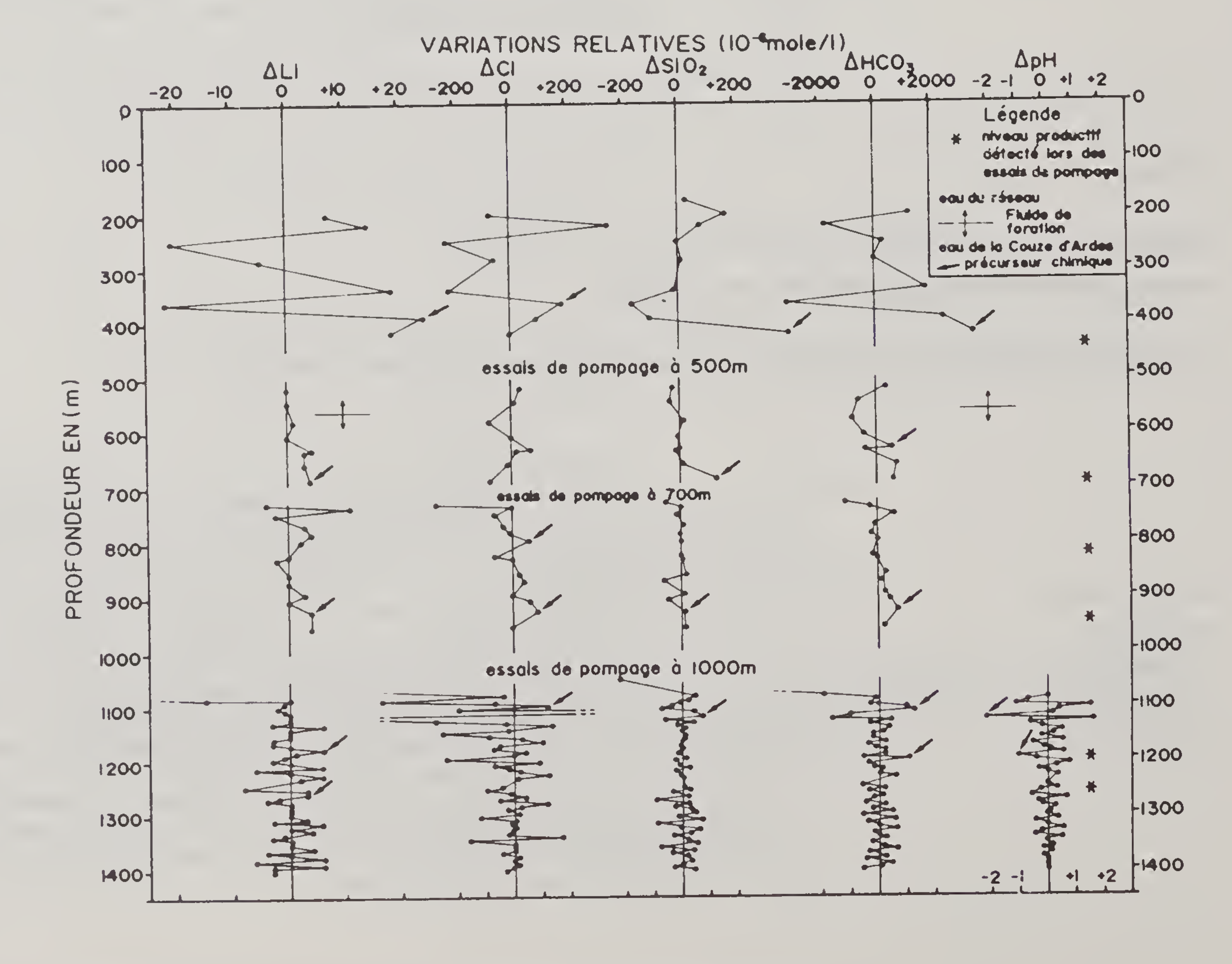
F.D. VUATAZ
M. BRACH
A. CRIAUD
C. FOUILLAC
B. MARTY*

Une diagraphie géochimique a été effectuée au cours de la foration de deux sondages dans le Cézallier (Massif Central) pour le programme Géologie Profonde de la France (GPF 3), dans le thème Géothermalisme actuel. Il s'agissait de prévoir et détecter les principaux niveaux produisant des fluides hydrothermaux et de comparer a posteriori les logs géochimiques aux différents logs lithologique, thermique et géophysique. Cette technique de diagraphie géochimique a été développée initialement pour l'industrie pétrolière, mais n'est pas encore utilisée en routine durant les opérations d'exploration et de développement des ressources géothermiques. Dans le Cézallier, de nombreuses sources minérales carbogazeuses émergent du socle gneissique fracturé et indiquent, par les méthodes géothermométriques, une température en profondeur de l'ordre de 200°C. On s'attendait donc à recouper par les sondages un ou plusieurs niveaux producteurs. En fonction des caractéristiques chimiques des sources, un certain nombre de paramètres a été sélectionné pour servir de traceurs naturels des eaux profondes lors de l'analyse du fluide de foration.

Pendant la foration du sondage S2 de 1400 m, entièrement carotté, la technique de diagraphie géochimique consistait à échantillonner le fluide de foration et en mesurer la température, le pH, la conductivité et le débit. Après filtration de ce fluide (eau + boue + additif chimique), l'analyse des espèces dissoutes considérées comme traceurs (Li^+, Cl^-, SiO_2, HCO_3^-) était réalisée rapidement dans un laboratoire mobile installé sur le chantier. Les variations enregistrées de la composition du fluide de foration résultent du mélange de ce dernier avec de l'eau provenant de niveaux productifs atteints par la couronne du carottier. En général, les zones productrices à faible débit sont rapidement colmatées par la boue de foration et cette dernière retrouve sa composition initiale jusqu'à la venue d'eau suivante. En cas de pertes de circulations, les foreurs doivent compléter le fluide de foration avec de l'eau d'origine superficielle (eau du réseau ou de rivière), et la concentration des différentes espèces analysées baisse de manière importante. Ce même phénomène se produit également dans le cas d'une importante venue d'eau faiblement minéralisée. L'intervalle d'échantillonnage du fluide de foration a varié avec l'avancement du sondage et la mise au point de la méthodologie. Dans la partie de 1000 à 1400 m, un échantillon a été prélevé tous les 6 mètres.

Une des méthodes utilisables pour interpréter un suivi géochimique du fluide en cours de foration consiste à examiner les variations relatives de ce dernier en fonction de la profondeur atteinte par la sondeuse. Deux possibilités sont offertes selon le mode d'échantillonnage de la boucle de circulation : si l'on prélève à la fois le fluide de foration initial (i) (injection à débit connu) et le fluide produit (p) (retour de circulation), on effectue alors la différence (Δ) de concentration du paramètre analysé (x) : $\Delta C_x = C_x(p) - C_x(i)$. L'autre possibilité ne concerne que le fluide produit. Dans ce cas la différence (Δ) de concentration (C) du paramètre (x) s'effectue entre deux échantillons de profondeur successive (z_1) et (z_2) : $\Delta C_x = C_x(z_2) - C_x(z_1)$. Un test comparatif des deux méthodes a montré une bonne concordance des résultats. D'autre part, la deuxième méthode présente l'avantage de diminuer le nombre d'échantillons à prélever et à analyser, même si un contrôle régulier du fluide injecté doit être réalisé : par conséquent, cette deuxième méthode a été choisie pour l'interprétation des variations relatives de concentration du fluide de foration.

Les résultats de cette diagraphie présentés sur la figure, montrent que les six venues d'eau établies a postériori par l'examen des carottes et les mesures au micro-moulinet, ont pu être détectées de 5 à 25 m avant d'être traversées par la couronne du carottier. En effet, des variations relatives positives d'au moins deux des quatre espèces analysées ont été decelées pour chacun des six niveaux producteurs. Pour expliquer ce phénomène, il semblerait que de l'eau minéralisée diffuse dans des micro-fissures autour de la fracture principale et modifie par conséquent la composition de la boue de forage avant d'avoir atteint la venue d'eau. Les nombreuses variations relatives mises en évidence entre 1100 et 1150 m ne correspondent pas à des débits mesurables au micro-moulinet pendant les essais de pompage. Il est donc possible que la foration libère de petits volumes de fluides minéralisés



Log géochimique du sondage S2 (Cézallier, Massif Central)

piégés dans des micro-fractures non connectées. Après leur lessivage par la boue de forage, ces fluides piégés ne peuvent plus être détectés en raison de l'absence même de circulation.

REFERENCE :

VUATAZ F.D., BRACH M., CRIAUD A., FOUILLAC C. et MARTY B., 1986. Suivi géochimiques des sondages S1 et S2 de Chassole. Programme Géologie Profonde de la France. GPF 3. Géothermalisme actuel. Documents du BRGM n° 105, 381-401.

* Ingénieur-Conseil

RS 2059

Etude de l'arsenic dans les fluides géothermaux. Exemples en France, Bulgarie, Dominique et USA

Behavior of arsenic in geothermal waters: examples in France, Bulgaria, USA and Dominica

A. CRIAUD
C. FOUILLAC

Le comportement de l'arsenic dans les solutions thermominérales est mal connu ; sa concentration y est extrêmement variable (quelques μg/l à plusieurs centaines de mg/l) et globalement liée à la minéralisation. On admet généralement que cet élément est "conservatif" et présent dans le réservoir avec un degré d'oxydation III. Pourtant très peu de dosages sélectifs des espèces III et V de l'arsenic ont été réalisés. D'autre part divers phénomènes (mélanges, précipitation-dissolution, oxydation, adsorption) peuvent affecter le rapport As/Cl, initialement représentatif de l'eau du réservoir, au cours de la remontée du fluide. La connaissance de ces mécanismes et de l'état d'oxydo-réduction du système peut fournir un outil supplémentaire à l'identification d'un réservoir à partir de la chimie de surface.

Un échantillonnage varié incluant des eaux bicarbonatées sodiques, des eaux sulfatées acides et chlorurées sodiques de pH neutre (caractéristiques des champs géothermiques) et des eaux alcalines et mixtes, a été réalisé. Les différentes formes III et V de l'arsenic ont été séparées sur le terrain avec une résine échangeuse d'ions et dosées en spectrophotométrie d'absorption atomique sans flamme. Les résultats montrent une grande disparité selon les zones :

* Massif Central Français (zone du Cézallier). 3 séries de sources carbogazeuses ont été distinguées par leur rapport As/Cl et SO_4/Cl croissants. Le groupe de St Hérent contient peu d'arsenic total (0 à 90 μg/l). 80 à 90 % est sous forme oxydée. Le groupe de Chassolle est très homogène : 95 à 100 % de l'arsenic total (300 à 1200 μg/l) présente un degré d'oxydation V. Le forage S1 (réalisé à Chassolle dans le cadre de Géologie Profonde de la France) a recoupé des venues d'eaux minérales du même type : As III n'a jamais été détecté. Dans le groupe de Chantejail, le plus riche en sulfates, As III semble au contraire dominant (jusqu'à 70 %). Dans tous les cas, les potentiels d'oxydo-réduction calculés à partir de la répartition As III - As V sont inférieurs de 100 à 150 mV aux potentiels mesurés à l'électrode de platine. Or ces mesures sont en accord avec les potentiels théoriques correspondant à un tampon minéral d'oxydo-réduction sidérite - hydroxyde ferrique. Le rapport As III/As V serait donc soit l'empreinte d'un état redox antérieur aux mécanismes incluant le fer, soit perturbé par des processus qui restent à préciser (dissolution de sulfures dans le groupe de Chantejail, par exemple).

* Dominique (zone de Wooten Waven). De nombreuses manifestations hydrothermales attestent de la présence d'un champ géothermique. Les deux sources chlorurées sodiques (98°, As total $\simeq$800 μg/l) fournissent une large majorité (75 %) d'As III, ce qui est en accord avec leur origine directement liée au réservoir. Dans les eaux sulfatées acides, (As total entre 0 et 250 μg/l), issues de la condensation et de l'oxydation d'H_2S volcanique en sub-surface, on note une plus grande importance de l'espèce réduite (parfois 100 %) ; Si As est issu de l'activité volcanique, cela signifie donc que l'oxydation de As III est très lente par rapport à celle d'H_2S. Cependant une partie de l'arsenic III et V peut provenir de l'altération. Les sources de type bicarbonaté sodique sont très peu arsenicales, et seules les formes oxydées sont trouvées ; ceci confirme le caractère "superficiel" de ces eaux en bordure de champ géothermique.

* Bulgarie : Les forages échantillonnés (températures entre 25 et 97°) sont remarquables par leur minéralisation faible et leur alcalinité. L'arsenic total ne dépasse pas 15 μg/l et $As(OH)_3^0$ prédomine. La présence de sulfures dissous explique en partie cette répartition.

* Valles Caldera, USA : Les manifestations hydrothermales y sont variées. As V exclusivement est trouvé dans les eaux sulfatées acides, ainsi que dans certaines sources mixtes. Une série d'échantillons de rapport As/Cl constant et de minéralisation importante, montre un pourcentage en As III compris entre

45 et 65 % (As total entre 280 et 2400 μg/l). Ces eaux sont issues d'un mélange entre une eau chlorurée-sodique et un aquifère peu minéralisé, mais ont conservé la marque de l'état réduit du réservoir.

L'examen de ces résultats fait apparaître la complexité de la géochimie de l'arsenic. L'hypothèse selon laquelle As III domine dans les fluides directement liés à un système géothermique semble justifiée ; cependant les eaux sulfatées acides sont tantôt très oxydées (As V seulement) tantôt peu oxydées (As III seulement), ce qui les différencie est peut être simplement l'origine de l'arsenic (altération ou volcanisme) mais la cinétique des réactions d'oxydation-réduction de l'arsenic est mal connue. Les calculs thermodynamiques, effectués pour l'ensemble des échantillons décrits ci-dessus, indiquent de façon unanime une sous-saturation vis-à-vis des minéraux de l'arsenic III (sulfures) ou V (arseniates). Des études très détaillées de chacun de ces systèmes sont en cours.

REFERENCE :

CRIAUD A., FOUILLAC C., 1986 - As III/As V ratio in geothermal waters : examples in France, Antilles, USA and Bulgaria ; soumis à Water Rock Interaction, 5th Symposium Reykjavik, 8-17 août 1986.

Environnement

1 - Erosion. Transport. Sédimentation

RS 2060

Etude du littoral du Togo à l'est de Lomé à partir de l'analyse de l'évolution de profils de plage

Study of the Togo coast east of Lomé by analysis of the evolution of beach profiles

C. OLIVEROS
R.E. QUELENNEC

Le littoral du Togo est le siège, depuis une vingtaine d'années environ, de graves phénomènes d'érosion, qui affectent durement la vie socio-économique de ce pays. L'étude de l'évolution du rivage à l'Est de Lomé a été confiée par l'UNESCO, au BRGM, dans le cadre du projet WACAF/3 (PNUE-UNESCO-U.N.DIESA "érosion côtière en Afrique de l'Ouest et du Centre).

Cette étude s'appuie sur l'analyse de diverses données existantes, ainsi que sur l'analyse de l'évolution de profils de plage au cours de la période septembre 1984-juin 1985, où trois séries de profils ont été levées sur les secteurs de Tropicana, Kpémé et Aného.

L'analyse de l'évolution récente (1964-1981) du trait de côte du Togo a permis de mettre en évidence la propagation d'Ouest en Est, de la perturbation apportée au transit littoral, conséquence de la construction en 1964 du nouveau port de Lomé. La propagation de cette perturbation le long du littoral s'accompagne, pour certaines zones, de phases d'érosion et de sédimentation alternatives.

L'évolution des profils de plage (sept. 84 - juin 85) met en relief une tendance générale à l'érosion (recul très sensible du système dunaire littoral) modulée localement et dans le temps par des zones en engraissement, généralement au niveau de l'estran. Ainsi, contrairement à certaines idées reçues, nous avons pu observer dans les secteurs étudiés, des zones où le trait de côte avançait (entre + 2m et + 18 m) et où il reculait (entre - 2 m et - 27 m).

Les conclusions de cette étude mettent l'accent sur la nécessité de poursuivre des campagnes de levés de profils à défaut de disposer d'un modèle de simulation et prédiction du comportement du littoral togolais ; en effet, le modèle d'évolution du littoral, s'appuyant sur les hypothèses du type Pelnard-Considère, basée sur la saturation progressive de la capacité de transit littoral supposé constant dans l'espace et le temps, ne permet pas d'expliquer les comportements observés dans les secteurs étudiés. L'hypothèse d'existence de circulations littorales cellulaires permettrait très probablement d'expliquer les phases alternatives d'érosion et d'engraissement que connaissent certains secteurs de la côte togolaise.

RS 2061

Synthèse des données sur l'érosion côtière en Afrique de l'Ouest et du Centre

Synthesis of data on coastal erosion in West and Central Africa

P. BOUYSSE
F. LE LANN
N. LENOTRE
R.E. QUELENNEC
Y. THISSE

Projet WACAF/3, UNESCO/ONU-DAESI/PNUE

Dans le cadre du projet conjoint UNESCO/ONU-DAESI/PNUE intitulé "Lutte contre l'érosion côtière en Afrique de l'Ouest et du Centre" (WACAF/3), le département Géologie Marine et Sédimentologie Dynamique du B.R.G.M. a réalisé, en collaboration avec de nombreux laboratoires français (Universités de Bordeaux I et de Perpignan, ORSTOM) et étrangers (Angola, Bénin, Congo, Côte d'Ivoire, Guinée, Nigéria, Sénégal, Togo, Grande-Bretagne, Pays-Bas, U.S.A.), une synthèse des données concernant le littoral et les fonds marins avoisinants de l'Afrique de l'Ouest, depuis la Mauritanie jusqu'à l'Angola, inclusivement.

Ce travail a été conçu suivant une approche globale, interrégionale, en intégrant les différents paramètres qui concourent à modeler la zone littorale. Il s'organise en trois grandes parties.

La première partie s'efforce de cerner tous les facteurs qui influencent la morphogenèse de la zone côtière : le climat et les grandes caractéristiques océaniques comme paramètres primordiaux d'environnement, la géologie des terrains sur lesquels ils s'exercent et la nature du couvert végétal et des sols

qu'ils déterminent, la répartition des sédiments à leur arrivée sur la plateforme continentale, les sources de cette sédimentation qui peuvent n'être pas uniquement d'origine fluviatile, les actions hydrodynamiques auxquelles sont soumis les sédiments, les variations du niveau des mers dont l'action, bien que plus discrète à l'échelle humaine, n'en est pas moins déterminante, et enfin en bout de chaîne, l'interaction de l'homme avec le milieu littoral.

Une deuxième partie décrit les différents types de rivages rencontrés le long de la façade atlantique de l'Afrique, fait l'inventaire des variations du trait de côte, lorsqu'elles sont documentées, au cours de l'époque historique, replace le littoral africain dans le cadre de la classification très générale d'Inman et Nordstrom et justifie le découpage de ce littoral en dix grands secteurs naturels.

Enfin, la dernière partie analyse les caractéristiques régionales de ces dix secteurs.

La façade atlantique de l'Afrique de l'Ouest et du Centre constitue un laboratoire naturel particulièrement intéressant en ce qui concerne les problèmes de morphogenèse et d'érosion côtières. Bien que présentant une unité d'ensemble (ouest du continent africain), elle se déploie du nord au sud en une succession de facettes contrôlées par la diversité des facteurs climatiques, océanologiques et géologiques, et par la variabilité de la plateforme continentale (orientation, largeur, présence de têtes de canyons sous-marins). Un certain nombre de secteurs en phase d'érosion ont été reconnus, et tout particulièrement le long du littoral de la baie du Bénin, suite à la construction du grand barrage d'Akosombo sur la Volta (est du Ghana) et à la présence des ports de Lomé et de Lagos. On rappellera à cette occasion le rôle prépondérant joué par les barrages qui interrompent la livraison à la mer des alluvions fluviatiles et appauvrissent ainsi le transit littoral responsable de l'équilibre des plages sableuses. L'édification d'ouvrages perpendiculaires à la côte (jetées) perturbe également, mais à une échelle plus réduite et généralement temporaire, ce même transit.

Bien que l'information concernant la zone d'étude soit disparate, elle n'en représente pas moins un volume assez considérable (900 références indexées dans un volume séparé) dont ce document ne peut donner qu'un aperçu. Ce dernier constitue néanmoins un premier essai d'organisation et de regroupement des faits essentiels et pourra servir de base pour une synthèse plus élaborée.

L'effort qui a été entrepris doit être poursuivi et rationalisé afin qu'il puisse servir utilement les pays concernés par le projet WACAF/3, et qui seront de plus en plus confrontés avec des problèmes d'érosion côtière dus à la multiplication des aménagements littoraux ou de l'interaction humaine sur les processus liés à l'équilibre de la ligne de rivage.

REFERENCES :

PNUE/UNESCO/UN-DIESA - Erosion côtière en Afrique de l'Ouest et du Centre. 240 p. dont annexes (sous presse).

UNEP/UNESCO/UN-DIESA - Bibliography on coastal erosion in West Africa and Central Africa. UNEP Regional Seas Directories and Bibliographies, Rome, F.A.O., 1985, 92 p.

RS 2062

Etude de l'érosion et des transports solides dans des bassins versants expérimentaux en région provençale

Study of erosion and solid transport processes in experimental drainage basins in the Provence area

R.E. QUELENNEC
P. DESHONS

Ce projet pluri-annuel de recherche du groupe d'études "BRGM/ORSTOM" a pour objectifs l'étude des processus d'altération-érosion-transports solides, l'évaluation et la simulation des flux liquides et solides à l'exutoire de quatre petits bassins versants (1 à 400 ha) situés dans des formations de type "Terres Noires", dans la région de Sisteron (Hautes-Alpes).

L'année 1985 a été consacrée à l'équipement des bassins pour la mesure des paramètres hydro-climatologiques (pluie-débit), à la réalisation de petits barrages pour le contrôle des flux à l'aval de ravines élémentaires, ainsi qu'à l'installation et au test de systèmes de télé-transmission par satellite (METEOSAT) de données acquises in situ.

L'analyse des données climatologiques disponibles a permis de mettre en évidence l'importance des phénomènes de gel-dégel qui conditionnent les processus d'altération des horizons superficiels des couches marneuses. Les sédiments

mobilisables sur les versants à la suite de la période hivernale sont progressivement érodés et transportés vers l'aval par les pluies de printemps et les orages d'été. Les précipitations les plus violentes qui se situent en septembre-octobre semblent jouer un rôle prédominant dans l'évacuation, à l'exutoire des bassins, des sédiments provisoirement stockés en bas des versants et dans les thalwegs.

Les mesures et analyses qui doivent se poursuivre sur plusieurs cycles hydrologiques permettront, notamment, de préciser les vitesses d'altération des formations superficielles marneuses et de quantifier la contribution des évènements hydrologiques élémentaires (gel-dégel, pluie-sécheresse) aux phénomènes d'érosion-ablation-stockage-évacuation qui se produisent à diverses échelles de temps et d'espace dans les bassins étudiés.

Le projet conjoint de recherche BRGM/ORSTOM est réalisé et mis en oeuvre grâce au support du Conseil régional Provence-Alpes-Côte d'Azur, du Ministère de la Recherche et de la Technologie et de l'Agence spatiale européenne.

RS 2063

Etude de la houle en théorie linéaire. Modèle de réfraction

Study of wave in linear theory. Numerical refraction model

C. OLIVEROS

Après un exposé descriptif de la houle en tant que phénomène naturel ainsi que ses incidences sur la stabilité des plages, il est rappelé succinctement les divers modèles analytiques d'une houle théorique, ainsi que leur domaine expérimental d'application.

L'ouvrage rappelle l'établissement des équations de base de la houle en théorie linéaire, ainsi que les équations traduisant le phénomène de réfraction sous ses aspects géométriques et énergétiques.

Le but de l'étude étant la mise au point d'un programme de calcul numérique de la réfraction, des algorithmes de calcul sont proposés après discrétisation des équations de propagation de la houle.

Le principe de calcul de la houle réfractée repose sur le calcul d'une série d'orthogonales conduisant, notamment, à des sorties graphiques de plans de vagues. On trouvera également une discussion sur le choix d'échelles de discrétisation des variables temps-espace, dont l'influence sur la qualité des résultats est mise en évidence.

Le domaine d'application du programme numérique est, certes, relativement restreint ; ses limites sont imposées, d'une part par la nature même de la théorie linéaire (faible cambrure de la houle), d'autre part par le choix qui a été fait de ne considérer que le phénomène de réfraction (réflexion et diffraction ne sont pas considérées). Toutefois, intégrée dans un logiciel d'acquisition de données bathymétriques (digitalisation de courbes bathymétriques, interpolation des profondeurs aux noeuds d'une grille) et aboutissant sur des sorties graphiques, la résolution numérique des équations de propagation constitue un bon outil, d'une mise en oeuvre facile, d'autant plus performant que les zones littorales sont relativement régulières (peu de singularités du type ilôts et pentes régulières).

2 - Gestion des déchets

RS 2064

Etude sur site expérimental de la migration en terrain semi-perméable d'effluents issus de boues industrielles

Experimental site study of the migration in semi-permeable soil of effluents from industrial sludges

M. BARRES
M. SAUTER

Dans le cadre d'un programme national de recherche sur la mise en décharge de déchets industriels, le B.R.G.M. a réalisé de 1979 à 1984, avec l'aide du Ministère de l'Environnement et de l'A.N.R.E.D., une étude sur site expérimental pour déterminer les risques de pollution liés à la mise en décharge contrôlée de types de boues qui posent des problèmes soit d'élimination en raison du volume produit et de la toxicité des composants, soit en raison des pollutions qu'elles occasionnent sur certains dépôts sauvages.

Sur un site sableux non saturé, ont été installés deux ensembles de stockage comprenant chacun quatre cuves de stockage d'environ 16 m³, entourant une fosse centrale d'observation. Les huit cuves sans fond reposent sur le sol et contiennent chacune une boue différente : une boue urbaine digérée anaérobie, une boue de dégraisseur de station d'épuration, une boue cuivreuse, une boue de fabrication de colles et gélatines, une boue de neutralisation d'effluents de décapage, une boue de cassage d'huiles de coupe (procédé Emulseri), une boue de rectification à l'huile, des goudrons acides.

L'infiltration des effluents dans le terrain sous les cuves a été suivie de la surface à 4 m de profondeur, par les moyens d'investigation habituels du milieu non saturé que sont les tensiomètres, les bougies de prélèvement d'eau et les mesures d'humidité neutronique.

Le suivi de l'évolution des effluents et de leur migration dans le terrain, sur une période de trois à cinq ans, a permis de distinguer différents comportements de boues, tant au point de vue hydrodynamique que du point de vue de la composition chimique des effluents et de préciser le rôle de barrière ou de filtre d'un terrain sableux non saturé vis-à-vis de différents composés polluants.

Après une phase transitoire de quelques mois pendant laquelle s'instaure un régime hydrodynamique influencé par les conditions météorologiques, un à deux ans sont nécessaires pour que l'effluent atteigne une composition relativement stable.

En ce qui concerne la migration de ces effluents dans le terrain, dans tous les cas le terrain est contaminé à 4 m de profondeur après deux ou trois ans.

Certaines de ces boues génèrent des flux polluants très importants et dangereux en site semi-perméable de classe II (exemple : les boues contenant des hydrocarbures). A l'inverse, les boues d'hydroxydes métalliques, prises isolément, ne semblent pas présenter de danger de pollution pour l'environnement, les métaux lourds étant immobilisés dans la boue. Les boues à caractère organique produisent un flux polluant non négligeable (DCO, carbone organique, azote) mais de même ordre de grandeur que les ordures ménagères.

L'apport de polluant peut être calculé pour un élément donné, à partir de la concentration (après stabilisation) et du volume de l'effluent et de la masse de boue stockée. Il s'exprime en g de l'élément considéré par kg de matière sèche de boue et par an (g/kg/an). Par comparaison avec la quantité initialement présente dans la boue, on peut également calculer la proportion annuelle libérée.

On remarque la libération très rapide d'azote contenu dans les boues à caractère organique, alors que le carbone, essentiellement sous forme organique est libéré très lentement. Les principaux résultats sont regroupés dans le tableau ci-dessous.

Par ailleurs, la confrontation des résultats obtenus *in situ* et en laboratoire avec les tests de lixiviation montre que ces derniers sont aptes dans certains cas (notamment les métaux lourds) à prévoir le comportement des boues et à évaluer le flux polluant.

Boue	Elément	Masse de polluant libérée (g/kg/an)	Proportion annuelle libérée
Boue urbaine digérée anaérobie	Carbone total	0,95	1/310
	Azote	1,6	1/26
Boue de dégraisseur	Carbone total	0,45	1/1 500
	Azote	0,45	1/31
Boue de fabrication de colle et gélatine	Carbone total	2,4	1/115
	Azote	1,2	1/7
Boue cuivreuse	$SO_4^{=}$	0,60	1/390
Boue de neutralisation d'effluent de décapage	$SO_4^{=}$	0,30	1/1 100
Boue de cassage d'huiles de coupe	Carbone organique	0,27	1/2 600
	Azote	0,50	1/15
Boue de rectification à l'huile	Hydrocarbures	11,5	1/29

Néanmoins, les études expérimentales de ce type, sur pilotes ou casiers, bien que plus longues et coûteuses, apportent des renseignements plus précis et permettent seules de vérifier les risques de pollution.

REFERENCE :

BARRES M., SAUTER M. - 1985 - Etude sur site expérimental de la migration en terrain semi-perméable d'effluents issus de boues industrielles. Rapport final BRGM 85 SGN 015 EAU.

RS 2065

Impact chimique et bactériologique sur les eaux souterraines d'un bassin de lagunage creusé en aquifère. Exemple de Guimerville (Seine-Maritime)

Chemical and bacteriological impact of a lagooning basin, excavation in an aquifer, on the groundwater: Guimerville, Seine-Maritime Department

P. EBERENTZ
P. JACQUOT

L'objectif du travail consistait à évaluer l'impact chimique et bactériologique des effluents d'un bassin de lagunage expérimental sur les eaux souterraines. L'originalité du bassin réside dans sa technique de réalisation et dans sa position : il est directement creusé dans les alluvions aquifères d'une vallée et il est localisé immédiatement en amont hydraulique d'une ballastière en eau et d'une rivière.

La mise en évidence de l'impact des effluents a été réalisée à partir de prélèvements trimestriels pratiqués pendant un an sur le bassin et quatre piézomètres. Les échantillons ont été soumis aux analyses chimiques et bactériologiques. De plus, il a été réalisé une analyse de boues (*métaux*) et un suivi piézométrique.

Les résultats obtenus ont mis en évidence l'existence d'une pollution généralisée et homogène de la portion de nappe localisée entre d'une part le bassin et d'autre part la ballastière et la rivière.

Le travail a permis de classer, selon l'importance de leur modification, les paramètres en quatre catégories. La répartition des groupes a été effectuée par comparaison des valeurs à celles de l'état initial de la nappe, des eaux souterraines du département et des normes de potabilité.

Les paramètres les plus influencés sont : la Turbidité, Couleur, Odeur, Saveur, Bactériologie, NH_4, Fe, N.tot. et Mn.

Le dispositif constitué par la station de GUIMERVILLE et la ballastière semble à priori très intéressant. Les effluents de la station transitent dans la nappe avant d'alimenter la ballastière qui constitue alors un immense bassin de lagunage. Dans ces conditions, il est fort probable que l'impact de rejet de la station sur la rivière soit imperceptible contrairement aux stations classiques.

REFERENCE : P. EBERENTZ - P. JACQUOT - Etude : 85 SGN 585 HNO

3 - Métaux lourds

RS 2066

Biotoxicité des métaux lourds incorporés à un compost en contact avec deux substrats minéraux

Biotoxicity of heavy metals incorporated in a compost in contact with two mineral substrates

J.C. VEDY*
T. DELLIS*

La quantité croissante de boues urbaines d'épuration pose de manière aigüe le problème de leur devenir. Leur contenu élevé en éléments nutritifs et en matière organique les rend utilisables comme agents fertilisants mais aussi comme matériau utile à la régénération de sols érodés et dégradés. Les boues et composts apportent cependant aussi des éléments toxiques dont il est nécessaire de comprendre le comportement et leur incidence possible sur la microflore des sols.

J.P. DUBOIS*
A. BOURG

L'impact du Cd, Cu et Zn sur la respiration microbienne et la biomasse ATP de mélanges de compost (boues + sciure) et de substrats minéraux (arénites de grès ou granite) a été étudié par incubation aérobie *in vitro*. Les interactions organo-minérales plus efficaces dans les mélanges compost-grès rendent les métaux lourds moins toxiques que dans les mélanges compost-granite.

REFERENCE :

VEDY JC., DELLIS T. et BOURG A. - 1986 - Biotoxicity of trace metals and composted sludge/mineral substrate interactions. Comptes-rendus, 2nd workshop on Carcinogenic and/or Mutagenic Metal Compounds, Gordon and Breach N.Y. (sous presse).

* Institut de Génie Rural - Pédologie, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Suisse.

RS 2067

Etude in situ du transfert de micropolluants, équipement et validation du site de Balloy (Seine-et-Marne)

Field studies of micropollutant transfer, equipment and validation of the Balloy site (Seine-et-Marne, France)

A. BOURG
G. BROSSIER
R. FARAND
J. PEIROLO
J.P. SAUTY

Le B.R.G.M. et le C.E.N.G.* se sont associés pour étudier in situ le transfert de certains micropolluants dans les sols (métaux lourds pour une première phase), en procédant par injection simultanée de ces produits à faible dose - et de traceurs parfaits, puis suivi comparatif ; des essais sont également effectués sur colonne en laboratoire. A partir de 1986, une équipe de l'E.N.S.I.C.** s'est jointe au groupe de recherche.

L'année 1985 a été consacrée à l'aménagement et la validation du site de Balloy (Seine et Marne). Celui-ci consiste en un terrain de 3 hectares environ, composé de sables et graviers de Seine sur une épaisseur d'environ 6 m reposant sur la craie par l'intermédiaire d'une zone relativement peu perméable. Ce terrain appartient au B.R.G.M. et a fait l'objet de diverses études depuis 1965.

L'équipement initial comprenait un puits profond de 15 m en ϕ 850 mm et 3 lignes de 10 piézomètres de 3 m en ϕ 100 mm, espacés de 10 à 20 m.

Le nouvel aménagement réalisé en 1985 a consisté en la mise en place d'une batterie de 12 nouveaux forages (puits ou piézomètres) beaucoup plus rapprochés et organisés de façon à suivre le transfert des substances en transit sous l'action, soit de l'écoulement naturel (approximativement SN), soit de l'écoulement radial convergent vers un puits de pompage. Ce dispositif est situé à l'extrémité S de la parcelle (amont hydraulique),

Les propriétés hydrodynamiques des ouvrages ont été testées par des pompages avec mesure des profils de vitesse au micromoulinet au cours de deux campagnes dont la seconde a été effectuée en septembre dans des conditions d'étiage prononcées. Il ressort de ces essais que la partie supérieure de l'aquifère, sensiblement plus perméable, véhicule la majeure partie du débit et que la partie la plus à l'Est du dispositif est sensiblement moins perméable. Le suivi piézométrique met en évidence la modification de la direction d'écoulement avec la baisse des niveaux, de SN (hautes eaux) vers SE-NW (basses eaux).

Un premier traçage de longue durée en écoulement naturel a été effectué par le C.E.N.G. durant l'hiver 1985-1986 : injection en octobre et prélèvement automatique d'échantillons sur une dizaine de forages jusqu'en mars 86.

Le programme 1986 comprend l'analyse de ces résultats, et deux nouvelles campagnes de traçage : l'une en écoulement radial (mai-juin 1986) et la seconde en écoulement naturel (à partir de juin 1986).

* CENG : Centre d'Etudes Nucléaires de Grenoble, notamment MM. GAILLARD et MARGRITA
** ENSIC : Ecole de Chimie de Nancy, notamment MM. SARDIN et SCWEICH.

RS 2068

Métaux lourds dans les sols du Bassin lémanique

Heavy metals in the soils of the Lake Geneva drainage basin

J.C. VEDY*
M. GRATIER*
A. BOURG
J. FERNEX*

La combinaison des connaissances actuelles de la biogéochimie des métaux lourds et des propriétés génétiques des sols permet de proposer des hypothèses sur le comportement prévisible des métaux (figure 1). Notons que ces hypothèses reposent sur la connaissance importante qu'ont les pédologues sur le comportement du fer, de l'aluminium et du manganèse et sur les raisonnements, par analogie, que l'on peut formuler par la prise en compte des métaux alcalins (Na, K) et alcalino-terreux (Ca, Mg).

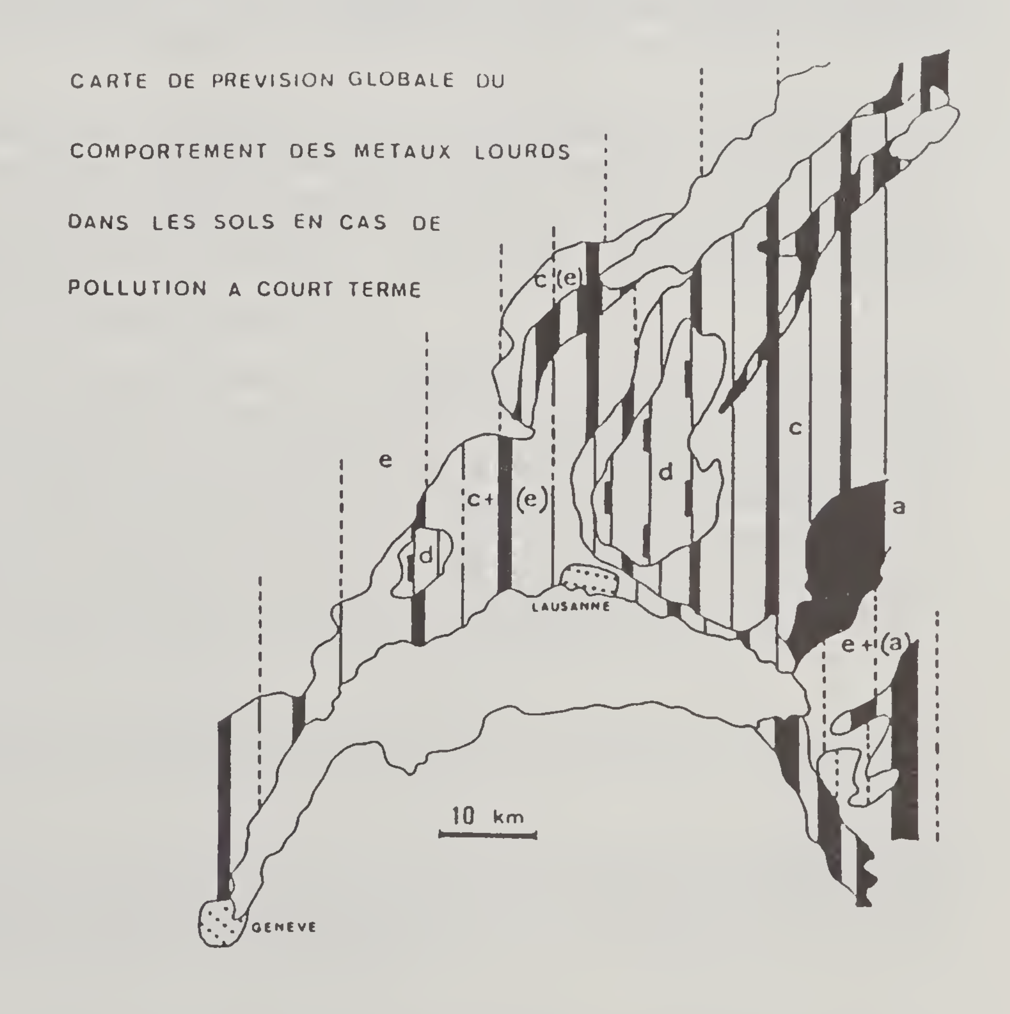
Les sols peuvent être subdivisés en deux grands ensembles. Le premier ensemble concerne les **sols bien drainés** pour lesquels la matière organique joue un rôle important dans la pédogenèse par l'intermédiaire des complexes organo-minéraux auxquels elle donne naissance. Deux sous-ensembles peuvent être constitués :

. les sols à complexe argilo-humique floculé. Il s'agit des sols calcimagnésiques et des sols brunifiés. Dans les premiers, l'immobilisation superficielle des métaux lourds serait rapide et totale, les transferts par la plante limités et les pertes par drainage nulles (rendzines) ou faibles (sol calcaire, sol calcique). Dans les seconds, l'immobilisation des métaux lourds ne serait que partielle, les pertes par drainage pouvant, toutefois, être compensées par le jeu du cycle biogéochimique : les transferts par la plante sont donc primordiaux.

. les sols sans complexe argilo-humique. Il s'agit des sols podzolisés. les métaux lourds ne seraient que très faiblement immobilisés dans l'horizon humifère, leur migration verticale s'effectuant à la fois sous forme particulaire (lessivage des argiles) et sous forme complexée organique (chéluviation) ou ionique (lixiviation). Cette migration est toutefois certainement limitée par immobilisation partielle dans les horizons B profonds. Le cycle biogéochimique est peu actif. En conséquence, les risques de pollution des aquifères est élevé (ruissellement, écoulement hypodermique, drainage profond).

FIGURE 1

A. Sols podzoliques hydromorphes.
B. Association de sols alluviaux calcimorphes et hydromorphes, en partie tourbeux. Malgré l'alcalinité du milieu, les métaux peuvent migrer en phase réductrice sous forme de sels.
C. Sols bruns lessivés hydromorphes et bruns, localement sols hydromorphes sous forêt, l'humus, lorsqu'il est actif, entraine un recyclage par la végétation.
D. Sols bruns acides légers, localement sols hydromorphes sous forêt, l'humus peu actif n'entraine pas un recyclage important par la végétation.
E. Sols calcimagnésiques (en montagne: fortement humifères) hormis un risque de pollution directe par le karst, dans ces sols l'accumulation est dominante, ils peuvent filtrer une pollution diffuse et faible mais à long terme l'accumulation peut entrainer une nuisance d'autant plus que sous forêt l'acidification naturelle progressant lentement elle peut relibérer les métaux.



TRANSFERT VERS LES AQUIFERES A TRAVERS LE SOL



IMPORTANCE CROISSANTE

Le second ensemble concerne les sols dits hydromorphes, dont l'évolution est liée aux conditions physico-chimiques : milieu réducteur par saturation des pores par l'eau, provoquant un déficit prolongé en oxygène. Que la nappe soit temporaire et d'origine strictement pluviale (pseudogley), ou qu'elle soit permanente et d'origine profonde (gley, tourbes), elle représente le vecteur idéal de la pollution. Quant aux horizons humifères, leur diversité est extrême : mull ou hydromull eutrophes à fort pouvoir de rétention, mor ou hydromor à capacité faible d'immobilisation, humus tourbeux à affinité spécifique pour certains métaux.

REFERENCES :

VEDY J.C., GRATIER M., BOURG A. (1986) - Métaux lourds et sols : accumulation ou transfert ? Théma, 1, 36-39.

BOURG A., VEDY J.C. (1986) - Expected speciation of dissolved trace metals in gravitational water of acid soil profiles. Geoderma, 38O.

* Institut de Génie Rural-Pédologie, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (Suisse)

Enfouissement profond des déchets radioactifs

RS 2069

Les gîtes minéraux : conditions limites de l'évolution des stockages de déchets radioactifs en milieu granitique

Mineral deposits: end conditions in the space-time evolution of radioactive waste repositories in a granitic environment

J.F. SUREAU
M. JEBRAK
B. LEMIERE

Action concertée CCE n° 357-83-7 WAS-F

L'un des principaux problèmes posés par les stockages de déchets radioactifs de longue vie dans des formations géologiques est d'évaluer leur comportement à long terme vis-à-vis du milieu dans le cas de libération des radioéléments.

Une façon de prendre en compte de longues périodes de temps ainsi que d'importants volumes de roches est de considérer des objets géologiques naturels (systèmes hydrothermaux, gisements minéraux) qui, par leur mise en place ou leur altération peuvent constituer des analogues de scénarios possibles de migration d'éléments chimiques dans l'environnement d'un stockage (champ proche et lointain).

Certains gîtes minéraux présentent dans cette optique de nombreux caractères qui les rapprochent des sites de stockages : nature de l'encaissant (principalement pour le granite), taille, morphologie, caractères géochimiques des éléments présents, durée des phénomènes d'évolution. Par contre des différences sont irréductibles, par exemple la nature minéralogique et chimique de la "source" qui oblige à réaliser une double analogie à la fois sur les mécanismes mis en jeu et sur les éléments chimiques impliqués lorsqu'ils ne sont pas naturellement présents (Transuraniens). Il n'existe donc pas de modèle analogue naturel complet. Il est nécessaire de réaliser une sélection dans les scénarios pour adapter son choix au meilleur site naturel de migration. L'analogie peut alors s'établir par le contexte géologique choisi (milieu granitique fracturé) par les mécanismes physico-chimiques mis en jeu (altérations hydrothermales et météoriques) et par les éléments chimiques impliqués (terres-rares, U, Th, Cs, Co...) (cf. tableau). A ce stade de l'étude deux approches peuvent être proposées :

- Une approche statique qui consiste à dresser le constat de la migration des éléments à la suite du déséquilibre chimique entre le gîte minéral et l'encaissant. Les paramètres majeurs sont alors le volume de roche et/ou le temps d'évolution. Cette investigation permet sur de grands volumes (km^3) et de longues périodes de temps (100 000 ans - 1 MA) d'approcher une valeur résultante de processus élémentaires dont l'inventaire est quasi impossible sans diminuer considérablement le volume d'investigation.

- Une approche dynamique qui consiste à isoler des processus géochimiques responsables de la mise en place des minéralisations ou de leur altération, afin d'en mesurer les conséquences sur la migration des éléments. Cette démarche permet d'isoler et de quantifier les paramètres physico-chimiques réglant la dissémination. Cette démarche d'identification des phénomènes, d'analyse et sélection des paramètres doit permettre de suivre le comportement dynamique des éléments chimiques analogues soumis aux aléas d'un contexte géologique. Le choix d'un gîte minéral permet, en accentuant les contrastes géologiques entre encaissant et minéralisation, de recueillir des données analytiques sur des éléments rares dans un environnement géologique banal (TR, Zr, Nb,...).

Dans les deux démarches considérées la recherche entreprise se doit de réunir des données quantifiées rapportées à un volume (roche ou minéral réactant).

L'étude des gîtes minéraux comme analogues naturels de stockages de déchets radioactifs de haute activité n'a pas pour vocation de reproduire fidèlement un scénario de migration, mais elle se doit de fournir des données qui seront considérées comme des limites quantifiées de l'évolution d'un système à une échelle de temps et de volume choisie.

La réduction à l'essentiel des phénomènes rencontrés au cours d'une histoire complexe doit permettre une transposition des paramètres moteurs des transformations dans des modèles de sureté.

L'une des contributions importantes de l'étude des gîtes minéraux comme analogues naturels, et peut-être la plus immédiate, réside dans la comparaison des paramètres mesurés avec les données obtenues par des codes de calculs dans le but de tester le pouvoir prédictif des simulations numériques.

SYSTEME D'ALTERATION	ECHELLE D'ETUDE	DOMAINE DE TEMPERATURE	DEBITS QUANTITE DE FLUIDES		CONDITIONS D'EQUILIBRE	TYPE DE MODELE ANALOGIQUE
hydrothermalisme pervasif, ou deutérique 1	10^3 m	100 - 200°	faibles	forte	faible déséquilibre chimique	conditions de rétention d'un massif granitique fracturé (champ éloigné et proche)
hydrothermalisme sous contrôle structural, ou filonien 2	m	100 - 200°	forts	faible	fort déséquilibre chimique	conditions de migration des éléments aux épontes des fractures (champ proche)
altération de basse température 3	10^2 m	< 100° C	faibles	forte	équilibre variable sous contrôle de fronts physico-chimioues	conditions de dispersion des éléments analogues (champ éloigné)

C'est dans ce sens que les processus engendrés par les gîtes minéraux peuvent être considérés comme une bonne approche des conditions limites d'un système à évolution lente tel qu'un stockage de déchets radioactifs en formation géologique.

SUREAU J.F. 1986 - Devenir à long terme des stockages de déchets radioactifs en formation géologique : analogie avec l'altération des gisements minéraux - contrat 357-83-7 rapport final.

RS 2070

Etude d'une sonde de mesure des contraintes en forage utilisant le principe de la photoélasticité

Measurement of rock stresses: preliminary study of a borehole photoelastic probe

Ph. MASSAL
R. CAYE
M. RECAN

Action concertée C.C.E. n° 400-83-7-WAS-F

La mesure des contraintes en sondage par surcarottage est basée sur le principe de la libération des contraintes par carottage autour de la portion de roche sur laquelle les mesures sont exécutées.

L'objet de ce travail était d'imaginer et de réaliser en laboratoire un modèle de sonde fondé sur ce principe et utilisant une méthode de mesure des déformations reposant sur le principe de la photoélasticité.

Deux types de corps d'épreuve ont été conçus et réalisés sur le modèle d'un disque annulaire à partir de différents matériaux photoélastiques. La mise en place et le collage de la jauge photoélastique dans le forage est une étape importante pour assurer la meilleure transmission possible des déformations. Les jauges mises en place dans des trous forés dans des blocs de granite ont été soumises à des tests en laboratoire, dans des conditions simulant les états de contraintes lors du surcarottage. Les franges d'interférences obtenues sont présentées sous forme de planches photographiques permettant de suivre l'évolution de la répartition des isochromes sur la jauge photoélastique en fonction de l'intensité et du rapport des deux contraintes principales dans le bloc de granite.

L'analyse théorique du problème repose sur la relation contrainte-déformation dans un massif rocheux infini percé d'un forage vertical. On suppose que les déformations de la paroi du forage se transmettent intégralement au corps photoélastique. Ainsi la mesure des déformations dans la jauge photoélastique permet de remonter aux contraintes dans la roche.

La définition des directions principales des contraintes est très simple et d'une bonne précision : c'est l'un des avantages de cette méthode. Par contre, la détermination des valeurs des contraintes n'est pas d'une bonne précision surtout pour des contraintes de valeurs élevées et des états de forte anisotropie.

En vue d'une application in-situ, il faudrait mener une étude spécifique qui, sans remettre en cause la forme de base des jauges définie dans cette étude, aurait pour but de déterminer le conditionnement de ces jauges et leur disposition dans le forage. De même le dispositif de collage mis au point en laboratoire devra être modifié.

En outre, la mise en oeuvre en forage profond d'une sonde de ce type nécessite auparavant que soit résolu le problème du collage d'un corps photoélastique en milieu aqueux.

REFERENCE :

MASSAL Ph., CAYE R., RECAN M. - Développement d'une sonde de mesure de contraintes en forage utilisant le principe de la photoélasticité Rapport final (86 SGN 105 STO)

RS 2071

Réalisation d'un dispositif pour la mesure de faibles perméabilités sur des échantillons de sols ou de roches en laboratoire

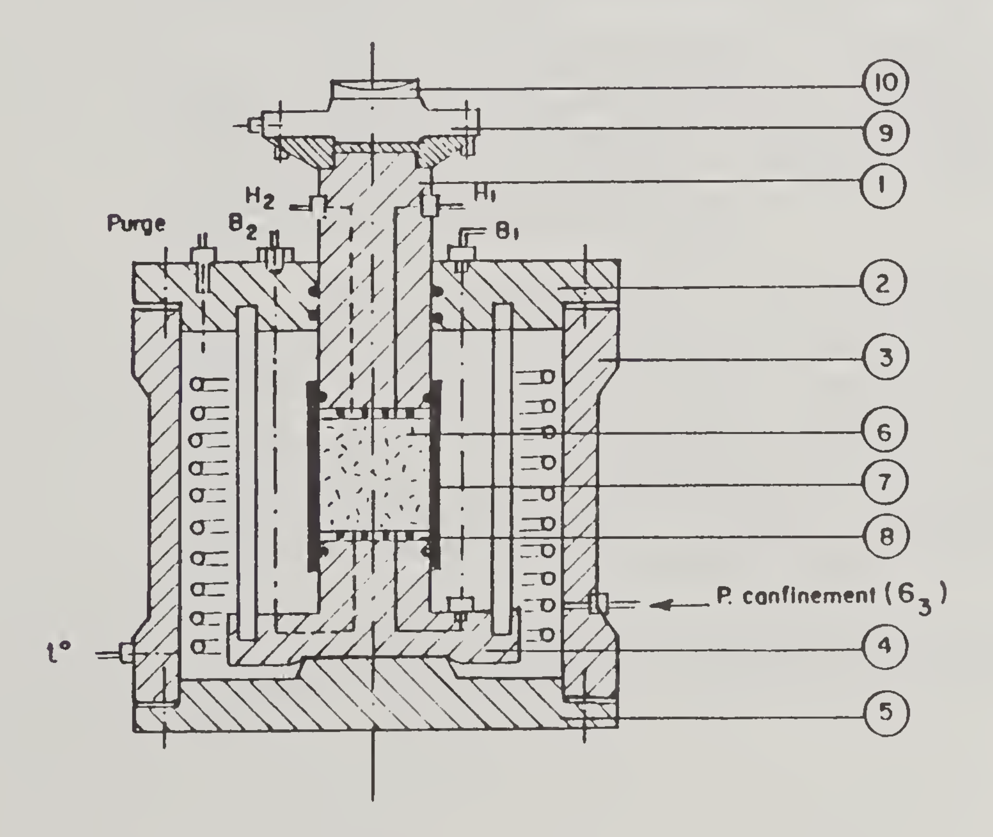
Construction of a laboratory permeameter for low permeability soil or rock samples

L. BERTRAND
Ph. MASSAL

La difficulté que présente la mesure in situ des très faibles perméabilités justifie le recours à des essais de laboratoire pour parvenir à leur détermination.

Dans le cadre d'une étude pour tiers, le BRGM a été amené à concevoir et fabriquer un perméamètre de laboratoire adapté aux matériaux gonflants. Les caractéristiques de cet appareil sont les suivantes :

- pression d'injection maximale de 50 MPa
- possibilité de contre pression à la sortie
- possibilité d'injecter des débits aussi petits que 10^{-6} cm^3/s (ce qui permet la mesure de perméabilités jusqu'à 10^{-14} m/s)



(1) Piston
(2) Couvercle de la cellule
(3) Corps de la cellule
(4) Embase
(5) Socle de la cellule
(6) Echantillon
(7) Membrane en latex
(8) Pierre poreuse
(9) Cellule dynamomètrique
(10) Rotule

Schéma de principe du perméamètre BRGM

- contrôle de la charge axiale
- maintien à zéro du déplacement différentiel des pistons
- température maximale : 120°C

Il s'est lui-même équipé d'une version simplifiée de cet appareil, conçue pour réaliser des mesures de perméabilité en régime d'écoulement permanent, sur des échantillons de sol sous contrainte triaxiale, dans la gamme 10^{-10} à 10^{-13} m/s. Cet appareil peut également être utilisé pour les roches, sous des contraintes de confinement atteignant 10 MPa.

L'ensemble de ce dispositif peut être thermostaté.

L'incertitude sur la valeur de la perméabilité mesurée avec cet appareil, dans la gamme sus-mentionnée, n'est que de quelques pour cent.

Fracturation

RS 2072

Etude de l'émission acoustique pendant des essais de petite fracturation hydraulique en sondage dans des calcaires

Study of acoustic emission during hydraulic fracturing tests in a borehole in limestone

M. BOUILLEAU
A. BEAUCE
D. LE MASNE

Une campagne de tests de fracturation hydraulique en forage peu profond (100 m) a été réalisée en avril 1985, dans la carrière de Prénois, située à 10 km au nord-ouest de Dijon, sur le plateau calcaire du seuil de Bourgogne, dans le "Comblanchien". Au total, 7 zones naturellement non fracturées ont été testées entre 33 et 58 m de profondeur. Trois organismes, le CEA (CESTA), l'IFP et le BRGM (GEG, IMRG et le SGR Bourgogne) étaient associés dans cette recherche.

Pendant les essais de fracturation hydraulique, les événements microsismiques induits ont été enregistrés. Le dispositif d'écoute microsismique était composé d'une part de la sonde IFP équipée de 3 accéléromètres, placée dans le forage d'écoute à 20 m du forage d'injection et, d'autre part, d'un réseau de 9 sismographes et de 12 accéléromètres scellés en fond de fouille à 1,00 m de la surface. L'IMRG a utilisé sa chaîne d'acquisition de signaux pour enregistrer sous forme numérique les événements sismiques liés à la propagation des fractures artificielles, tandis que le CESTA et l'IFP les enregistraient sous forme analogique avec leur système respectif.

L'ensemble du dispositif d'écoute microsismique a été testé et calibré avec une série de tirs de détonateurs électriques en surface et en forage. Le dépouillement des signaux enregistrés par la sonde IFP a permis de retrouver la direction du forage de tir, ce qui est une première avec cet équipement.

Des événements microsismiques ont été enregistrés au cours de plusieurs tests de fracturation hydraulique au moment du pic de fracturation et au cours des paliers de propagation de la fracture, pour des débits d'injection variant de 5 à 10 litres/minute. Le système d'acquisition numérique a montré son avantage sur l'enregistrement analogique malgré la capacité réduite (20 kHz à répartir sur toutes les voies) du convertisseur utilisé.

Les dispositifs mis en oeuvre ont permis de constater que les spectres de fréquence s'étalent jusque vers 8 à 12.000 Hz. Il reste à confirmer qu'il s'agit bien de fréquences propres des événements induits et non de phénomènes de résonance des capteurs. La vitesse de propagation des ondes dans le massif n'a pu être déterminée avec précision à partir des tirs de calibration ; elle pourrait être estimée par un dépouillement détaillé des enregistrements des accéléromètres de surface.

Seule une étude approfondie des enregistrements des accéléromètres de surface et en forage (sonde IFP), à partir d'une numérisation des signaux analogiques permettrait de confirmer le domaine de fréquence d'émission et peut-être de dissocier les ondes P et S. De même, une estimation de la localisation des événements semble possible, malgré le faible nombre d'enregistrements réalisés par les accéléromètres de surface. Le but de cette expérimentation étant de tester la faisabilité de l'enregistrement de signaux microsismiques émis par des petites fracturations hydrauliques (faible débit), de recueillir des données à partir de dispositifs d'enregistrement analogique et numérique et de proposer un dépouillement sommaire, il est ainsi atteint.

Ce travail a été effectué en collaboration avec l'IFP, avec le concours financier de la Mission scientifique et technique du ministère de la recherche.

RS 2073

Morphologie et comportement hydromécanique d'une fracture naturelle dans un granite sous contrainte normale. Etude expérimentale et théorique

Morphology and hydro-mechanical behaviour of a natural fracture in granite under normal load. Experimental and theoretical study

Une analyse systématique de la morphologie de la surface de fracture, du comportement mécanique et du comportement hydromécanique sous contrain-

S. GENTIER

te normale a été réalisée sur des éprouvettes de granite à grain moyen contenant une fracture naturelle perpendiculaire à l'axe de l'éprouvette et située en son milieu.

Après une présentation succincte des caractéristiques pétrographiques, physiques et mécaniques du matériau étudié, trois aspects fondamentaux sont abordés :

L'*analyse morphologique quantitative* est réalisée principalement à partir de profils enregistrés à l'aide d'un "rugosimètre". Cette étude est basée tout d'abord sur des méthodes statistiques (distribution des hauteurs, distribution angulaire...). Elle comporte de plus l'application de méthodes fréquemment utilisées dans d'autres domaines (géostatistique, traitement du signal, analyse fractale...). Une tentative de reconstitution de la fracture complète à partir de profils enregistrés sur les deux épontes de la fracture, et une prise d'empreintes à différents niveaux de contrainte ont donné lieu à une étude en surface et en volume de la fracture à l'aide de méthodes statistiques, stéréologiques et d'analyse d'image. Outre la description quantitative de la morphologie, cette étude débouche sur des propositions de modélisation des surfaces de fracture dans l'optique de mieux maîtriser les paramètres introduits dans les modèles numériques de comportement ;

L'*étude expérimentale du comportement mécanique* de la fracture sous contrainte normale réalisée sur ces mêmes échantillons a permis de mettre en évidence l'importance de la phase de mise en place des deux épontes de la fracture l'une par rapport à l'autre. Les éprouvettes ont ensuite été soumises à plusieurs séries de cycles charge-décharge jusqu'à des contraintes de 70 à 80 MPa. Ces données expérimentales et les données morphologiques ont conduit à envisager deux modèles théoriques de comportement. Le premier modèle est basé sur la forme et la distribution des aspérités, déduites directement de l'analyse des profils : le comportement mécanique des aspérités est alors supposé élastique. Le second modèle repose sur la distribution des hauteurs de vide de la fracture d'où est déduite une distribution "d'aspérités équivalen-



Carte isovaleur des hauteurs de vide résultant du krigeage (éprouvette E1)

tes" : les aspérités sont supposées avoir un comportement élastoplastique et leur critère de rupture prend en compte la pression de confinement s'exerçant sur chacune des aspérités ;

Enfin, une *étude en laboratoire du comportement hydromécanique* a été réalisée, toujours sur les mêmes échantillons. La mise au point des expériences et leurs interprétations s'appuient sur les résultats acquis lors des études morphologiques et mécaniques, et mettent en évidence l'étroite relation entre la transmissivité de la fracture, la variation de l'ouverture libre de la fracture et la morphologie des épontes. Pour conclure, une discussion des modèles de comportement hydromécanique existants est présentée.

REFERENCE

GENTIER S. - Morphologie et comportement hydromécanique d'une fracture naturelle dans un granite sous contrainte normale. Etude expérimentale et théorique. Thèse. Université d'Orléans, mars 1986

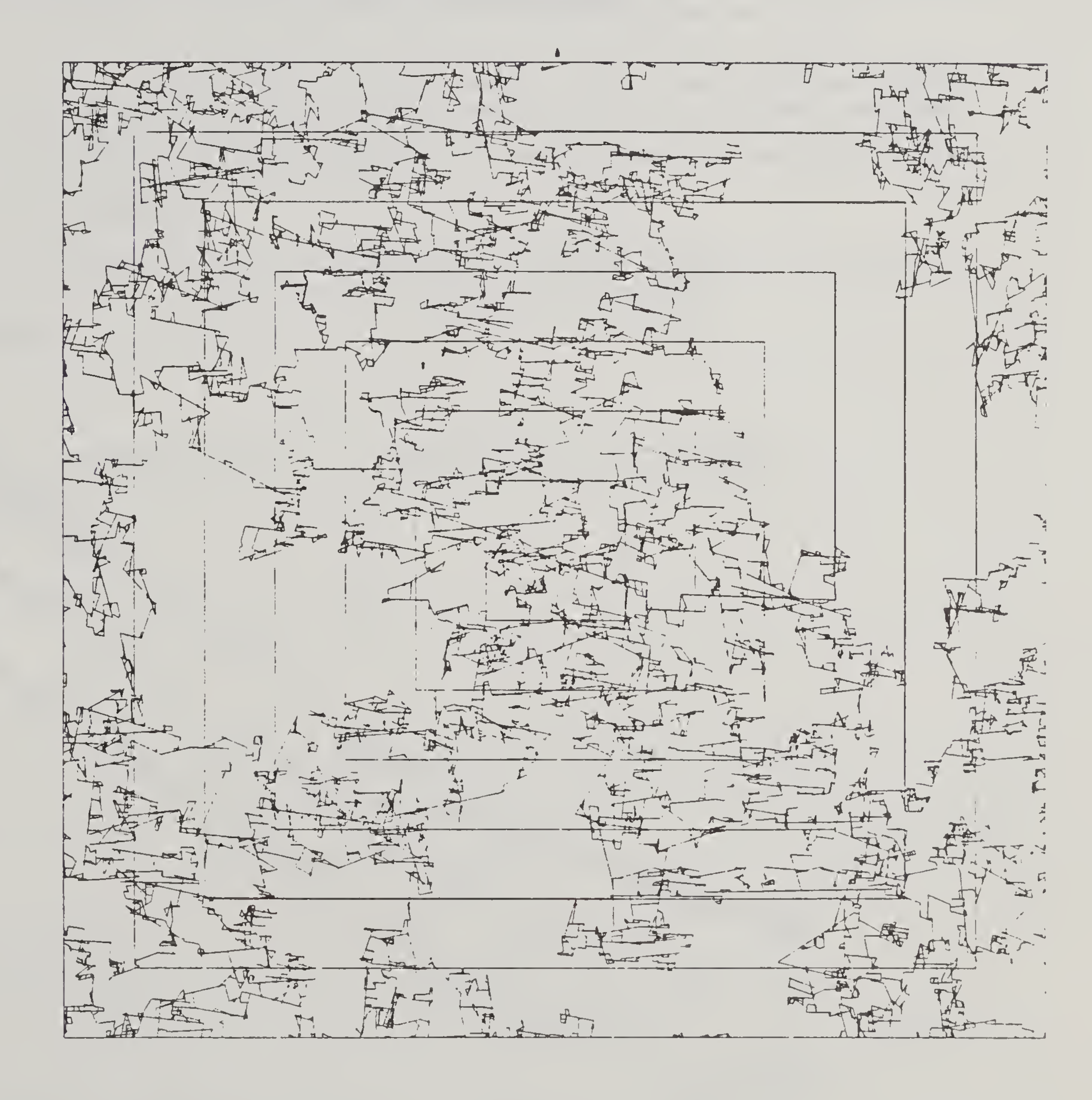
GENTIER S. - Résume scientifique 1984, RS 1870

RS 2074

Generation aléatoire de champs de fractures. Prise en compte de la régionalisation de la fracturation

Random generation of fracture fields taking into account the regionalization of fracturing

D. BILLAUX



XBL 863-1170

Domaine d'écoulement de 70 x 70 m isolé du domaine de génération de 100 x 100 m. Les impasses et les fractures isolées ont été retirées

L'étude des écoulements dans les milieux fracturés, de même que celle d'un certain nombre de problèmes de stabilité de massifs rocheux, peuvent se trouver facilitées si l'on dispose de modèles représentatifs du champ de fractures réel sur un volume assez important.

Dans le cadre d'un programme de recherches commun avec le Lawrence Berkeley Laboratory a été introduite dans un programme de génération aléatoire de champs de fracture, reproduisant les caractéristiques statistiques d'un champ réel (orientation et importance relative des différentes familles de fractures, distribution des longueurs, ouvertures, distances interfracturales, corrélations entre ces grandeurs), la régionalisation de la fracturation, qui rend compte du fait que les paramètres caractéristiques de celle-ci ne sont pas distribués de façon totalement aléatoire dans l'espace, mais obéissent à une certaine organisation qu'une étude variographique permet de mettre en évidence.

Le modèle a été développé à deux et à trois dimensions, mais, à l'heure actuelle, seules des applications à deux dimensions ont été traitées.

Elles portent sur le granite de Saint-Sylvestre (Haute-Vienne), dans lequel les galeries de la mine d'uranium de Fanay-Augères (Cogema) ont permis de recueillir de très nombreuses données sur la fracturation. Un champ de fractures de 100 m x 100 m a été généré.

L'étude hydrodynamique détaillée de ce champ de fractures fait apparaître qu'il est peu connecté (figure), et que son assimilation à un milieu continu équivalent serait totalement irréaliste.

L'étude d'un champ de fractures tridimensionnel, en cours, devrait faire apparaître une connexion plus élevée du réseau de fractures.

Ce travail a été réalisé avec un soutien financier de l'AFME (programme Géothermie profonde généralisée). Nous remercions le CEA (IPSN) de nous avoir autorisés à utiliser certaines données recueillies à l'occasion d'études effectuées pour son compte.

Prévision et prévention des risques naturels

1 - Mouvements gravitaires

RS 2075

Modélisation de la trajectoire de blocs rocheux sur une pente naturelle

A model for rock blocks falling along natural slopes

J.L. FALCETTA

Ce travail de recherche, consacré à l'étude et à la modélisation de la trajectoire d'un bloc rocheux sur une pente naturelle, avait pour objectif de proposer au spécialiste, confronté aux problèmes de chutes de rochers, un outil lui permettant de prévoir l'extension des zones menacées et d'en déduire les mesures de sécurité à prendre.

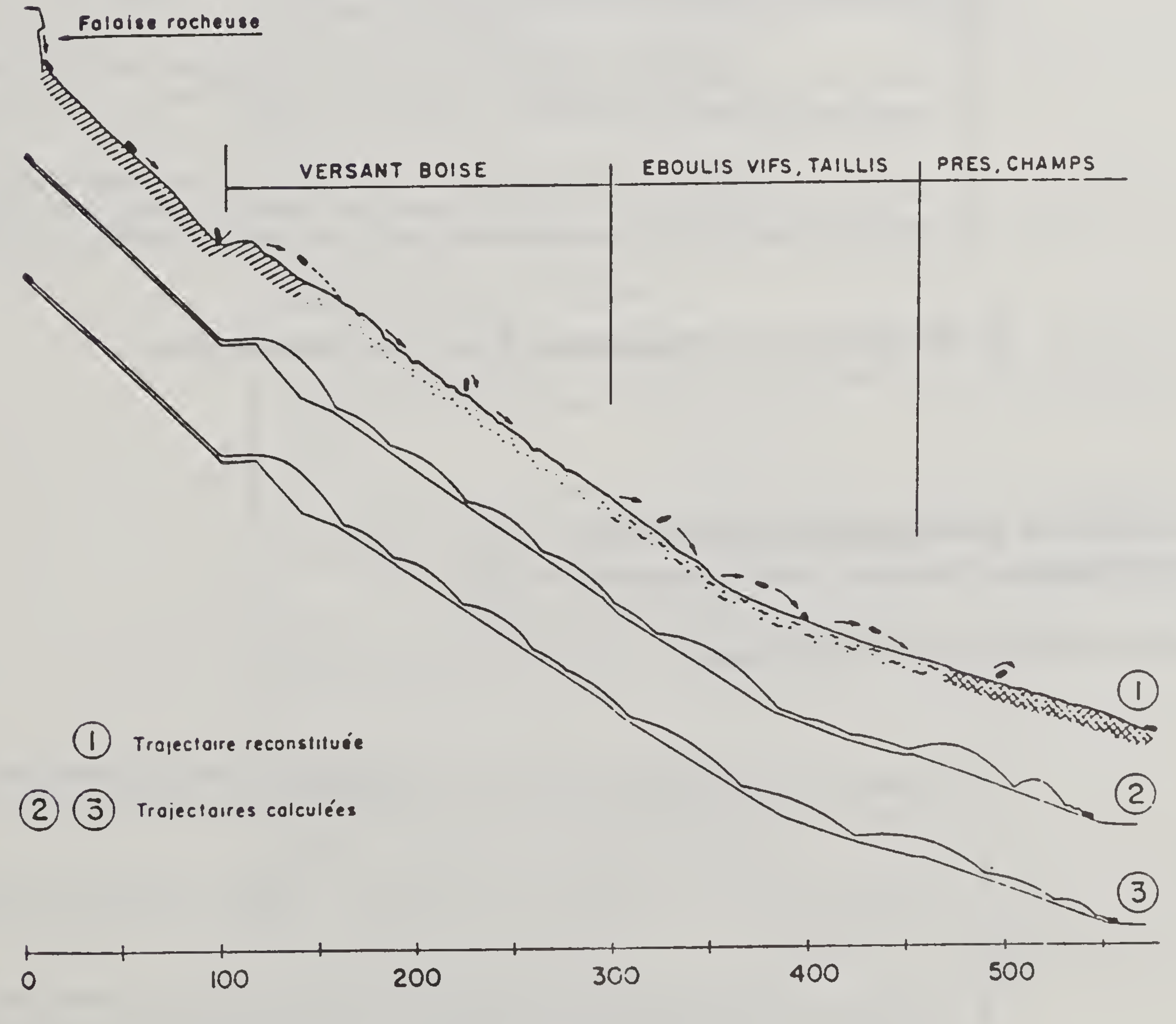
Après une analyse bibliographique qui a permis de faire le point des modèles existants, ainsi que de l'état des connaissances en matière de frottement, de fragmentation des roches et d'indentation, quelques essais réalisés en laboratoire ont permis d'aborder le problème de l'éclatement sous choc et de l'enfoncement de projectiles dans un sol meuble.

Le modèle bidimensionnel proposé pour le calcul des trajectoires prend en compte la forme et la rotation du bloc ; par contre, sa fragmentation éventuelle n'est pas considérée. La méthode de calcul est basée sur la détermination, à tout moment, du système de forces agissant sur le bloc.

Ce modèle a montré l'intérêt de considérer la géométrie du bloc qui, comme on peut le constater dans la réalité, joue un rôle important dans son évolution. La modélisation permet notamment de représenter toutes les phases possibles du mouvement du bloc (trajectoire dans l'air, glissement, roulement, rebond) et peut être utilisée pour choisir l'emplacement et la hauteur d'ouvrages de protection.

REFERENCES

FALCETTA J.L. - Etude cinématique et dynamique de chutes de blocs rocheux. Thèse Docteur-Ingénieur. INSA de Lyon. juin 1985.



Exemple de trajectoires réelle et calculée d'un bloc rocheux à Montagny (Savoie)

RS 2076

Plan d'exposition aux risques naturels prévisibles (PER). Plan expérimental de Tours (Indre-et- Loire). Rapport technique sur les aléas liés aux mouvements de terrain

Exposure to predictable natural risk survey. Tours (Indre-et-Loire Dept.) experimental plan. Technical report on risks of ground movements

R. PASQUET

Avant de lancer la réalisation systématique, en France, de plans d'exposition aux risques - PER - dans le cadre de la législation de 1982 et 1984, la délégation aux risques majeurs a fait procéder à l'élaboration de PER expérimentaux choisis en fonction de leurs caractéristiques exemplaires.

Celui de Tours est en cours de réalisation. Le B.R.G.M., pour sa part, a été chargé de la partie technique de ce plan relative aux mouvements de terrain (BCEOM étant chargé de la partie inondation).

Une phase documentaire permet de situer le secteur étudié dans son cadre géographique et géologique. Elle comprend, également, le recensement des mouvements de terrain anciens et leur présentation dans l'espace et dans le temps.

La méthodologie du travail de reconnaissance du site est décrite. Elle s'appuie sur une visite technique systématique des parcelles cadastrales concernées par les aléas et débouche sur un zonage des secteurs à risque (échelle 1/1000e).

La Ville de Tours n'a connu par le passé qu'un nombre peu élevé de mouvements de terrain dont l'ampleur est toujours restée faible à moyenne. Seul le dernier évènement de janvier 1985 à Marmoutier a mis en mouvement un volume rocheux supérieur à 1 000 m^3.

L'objectif visé dans l'élaboration de cette carte des aléas était non seulement de localiser les aléas et de les classer par nature et par importance à partir de la bibliographie, mais de proposer un tel classement à partir d'une visite technique systématique des zones à risques, l'analyse détaillée étant réalisée au niveau de chaque parcelle de terrain ; la synthèse comprend un zonage descriptif au 1/1 000e avec énoncé des aléas et des recommandations visant à les réduire.

Une carte d'intensité des aléas (1/10 000e) fixe de façon relative les divers degrés d'aléas suivant les zones.

La partie règlementaire du PER, s'appuyant sur les données techniques, est en cours de réalisation par les responsables de la collectivité en concertation avec le B.R.G.M.

Pour les futurs rapports techniques se rapportant aux mouvements de terrain, la tendance serait d'élaborer des rapports plus synthétiques ne nécessitant pas une visite systématique au niveau de la parcelle.

2 - Risques volcaniques. Risques sismiques

RS 2077

Essai de caractérisation géochimique de fractures en domaine volcanique par analyse in situ des gaz des sols

Identification of volcanic fractures by in-situ soil gas analysis

J.-C. BAUBRON

Des analyses in situ des gaz des sols ont été effectuées par spectrométrie de masse selon des profils situés sur les volcans Champs Phlégréens, Vésuve et Etna (Italie).

Lors des analyses, ces volcans étaient en phase de repos ou d'activité réduite. Les résultats permettent d'établir un "état zéro" des zones prospectées.

Trois composantes des atmosphères des sols présentent des variations de concentrations qui paraissent liées aux structures tectoniques sous-jacentes. Ce sont l'hélium, le dioxyde de carbone et l'argon (figure 1). Aucune d'entre elles ne peut être un marqueur unique fiable de la fracturation, mais

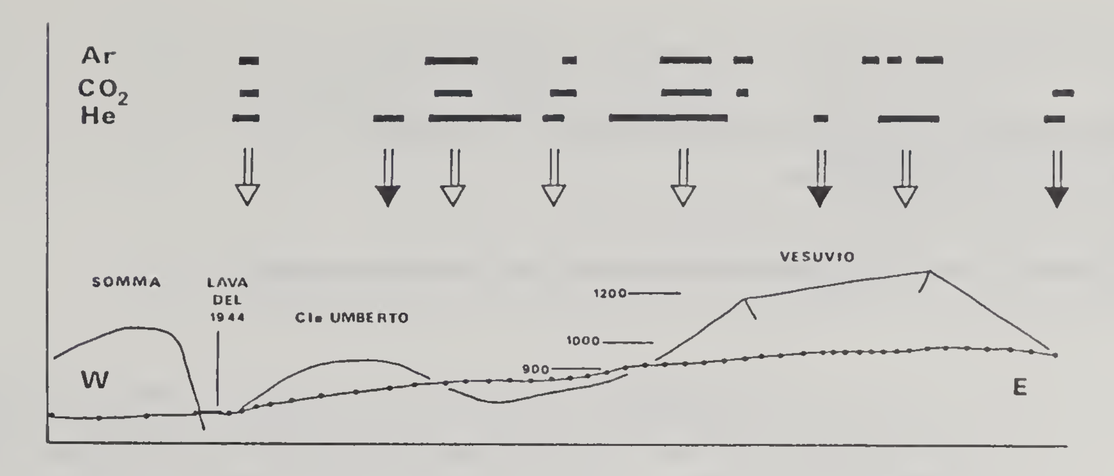


Figure 1 - Anomalies gaz le long du profil de la Vallée del Gigante du Vésuve.

⇩ Anomalie de type "crustal".
⬇ Anomalie du type "volcanique"

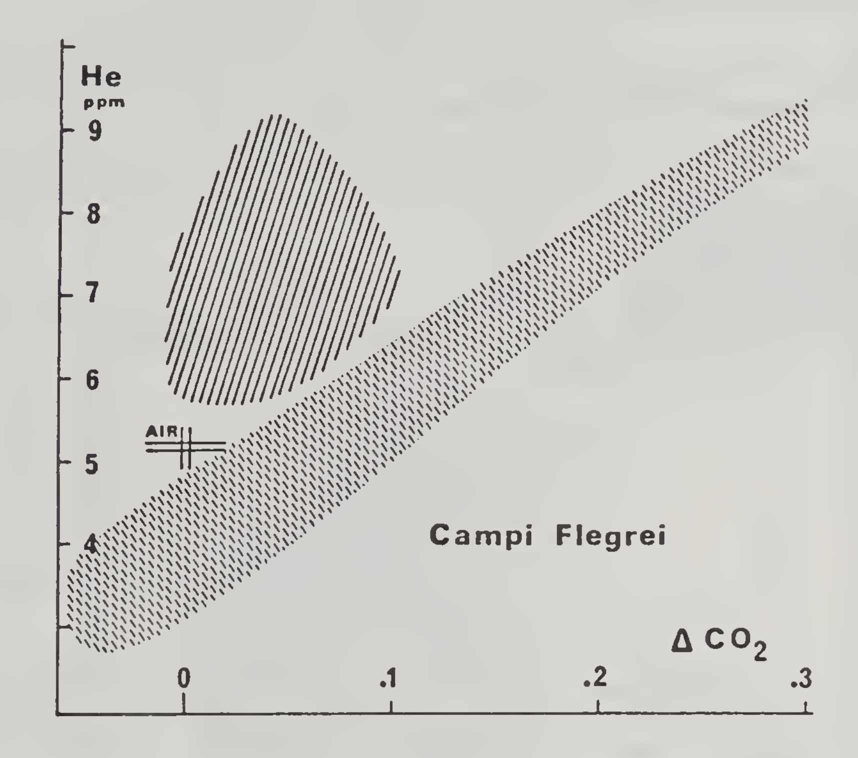


Figure 2 - Concentrations relatives en hélium et dioxyde de carbone d'un profil concentrique au centre de la Caldéra des Champs Phlégréens.

Grisé : anomalies de type "crustale".
Hachuré : anomalies de type "volcanique"

le comportement homothétique ou non des concentrations de ces trois éléments gazeux permet de discriminer si cette fracturation est banale ou liée à une anomalie thermique (figure 2).

Les valeurs absolues des concentrations maximales sont analogues pour les différents appareils volcaniques étudiés et significativement plus élevées que celles des atmosphères des sols sur des fractures en domaine granitique.

La cartographie géochimique de régions sensibles permet d'identifier les fractures à potentialités éruptives, dont la signature anomale peut se reconnaître loin de la zone volcanique active.

Il est ainsi possible d'envisager l'installation d'analyseurs spécifiques permanents en des sites appropriés pour suivre le comportement dynamique des fuites gazeuses liées aux anomalies thermiques profondes.

REFERENCE :

Rapport BRGM 86 DT 08 MGA, 80 p.

*Cofinancement partiel de la Délégation aux Risques Majeurs et de l'Observatoire du Vésuve (Naples).

RS 2078

Caractérisation d'une séquence ignimbritique dans le massif du Piton des Neiges, île de la Réunion

Characterization of an ignimbritic sequence in the Piton des Neiges Volcano, Reunion Island

Ph. ROCHER

De récents travaux de terrain dans le massif du Piton des Neiges à la Réunion ont permis de mettre en évidence un épisode ignimbritique qui constitue un évènement majeur dans l'histoire volcanologique du massif. Il est daté à 188 000 ans.

Sa cartographie détaillée permet d'éclairer trois aspects controversés de la géologie du massif : la définition des coupures principales au sein de la série différenciée, l'âge de la formation des cirques, la structure du Piton d'Enchain (cirque de Salazie).

L'ignimbrite s.l. constitue un très bon repère stratigraphique : elle se situe à l'interface entre la série océanitique de base et les laves du deuxième stade de la série différenciée.

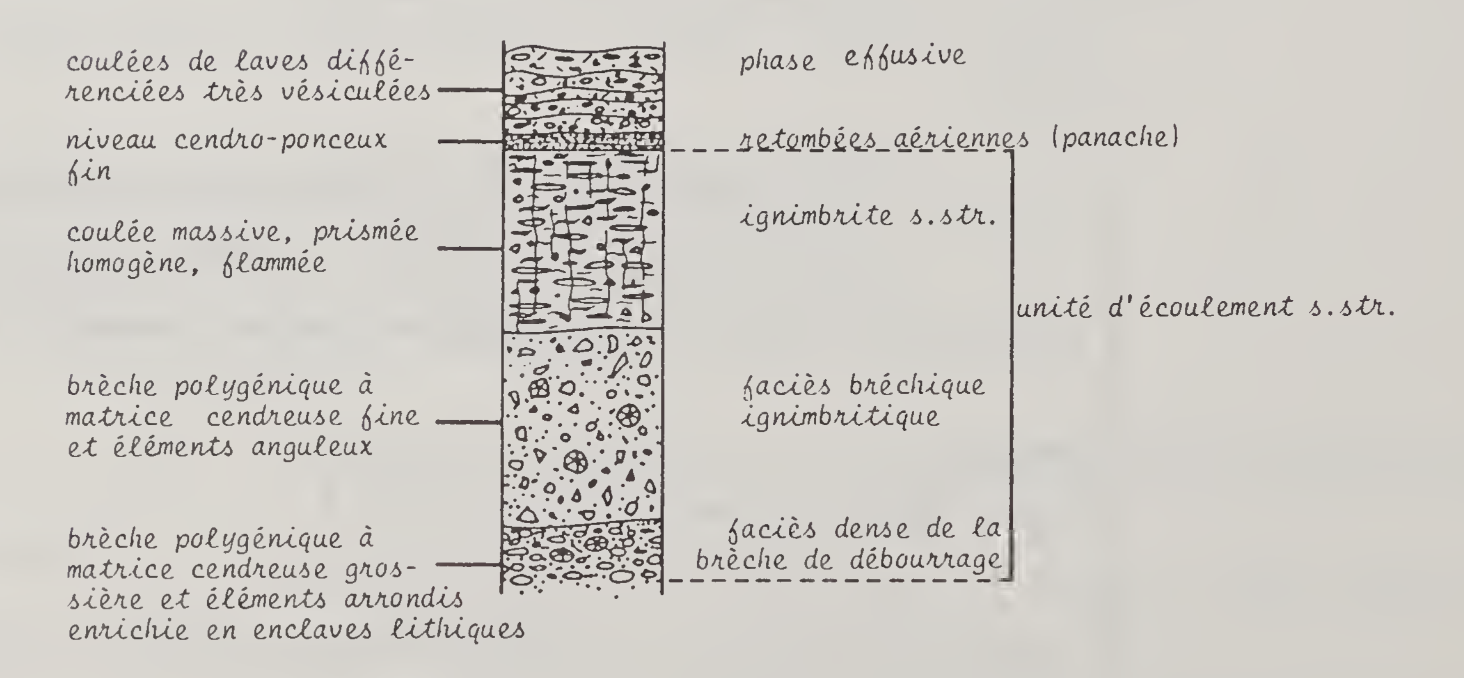
Sa cartographie permet une reconstitution paléogéographique du massif vers 200 000 ans B.P. où deux vastes cirques d'érosion, creusés dans les océanites, occupaient la partie centrale du volcan-bouclier sur son flanc ouest.

L'ignimbrite représente une des phases d'un épisode éruptif complet dont les produits sont venus combler ces dépressions dégagées par l'érosion. Globalement, la séquence observée dans le cirque de Salazie (fig.) se compose, depuis sa base :

* De l'unité d'écoulement s.tr. qui se subdivise en trois parties.
* D'un niveau cendro-ponceux fin, lité, très peu épais, caractéristique des retombées aériennes du panache.
* D'une phase effusive représentée par des coulées de laves différenciées (hawaïtes-mugéarites) très fortement vésiculées.

La coexistence de deux magmas chimiquement différents (basaltique et trachytique) peut être à l'origine du déclenchement de l'éruption. Le mécanisme éruptif qui a engendré ces dépôts pyroclastiques, à savoir l'effondrement d'une colonne éruptive plinienne, ne semble pas associé dans le cas présent à la formation d'une caldéra.

Les niveaux sous-ignimbritiques sont les seules brèches à proprement parler de débourrage connues dans le massif du Piton des Neiges. Leur enrichissement en enclaves lithiques suggère l'intervention de l'eau dans le processus éruptif. L'absence de toute auréole d'oxydation à leur surface indique que le contact eau/magma ne s'est pas effectué au niveau d'un aquifère réducteur de l'édifice volcanique. Il est donc permis d'avancer l'hypothèse d'une infiltration d'eau superficielle par le conduit éruptif. Les échantillons ramonés par l'éruption sont représentatifs d'une colonne lithostratigraphique allant des gabbros et océanites à la base jusqu'aux coulées différenciées superficielles du premier stade.



Coupe synthétique de la séquence ignimbritique du Piton d'Enchain (cirque de Salazie) (d'après ROCHER, 1985)

La présence d'enclaves laviques différenciées saines et intensément hydrothermalisées (paragenèses à chlorite - albite - épidote) aux côtés d'enclaves océanitiques faiblement altérées démontre l'existence d'une phase hydrothermale anté-ignimbritique de haute température très localisée dans l'espace.

D'un point de vue magmatologique, l'épisode ignimbritique marque, au sein de la série différenciée, le passage des laves sursaturées en silice (à quartz et/ou hypersthène normatifs) du premier stade aux laves sous-saturées en silice (à néphéline normative) du second stade.

RS 2079

Ecoute sismique sur l'île de Sao Miguel aux Açores

Seismic monitoring in Sao Miguel Island, Azores

A. BEAUCE
D. LE MASNE

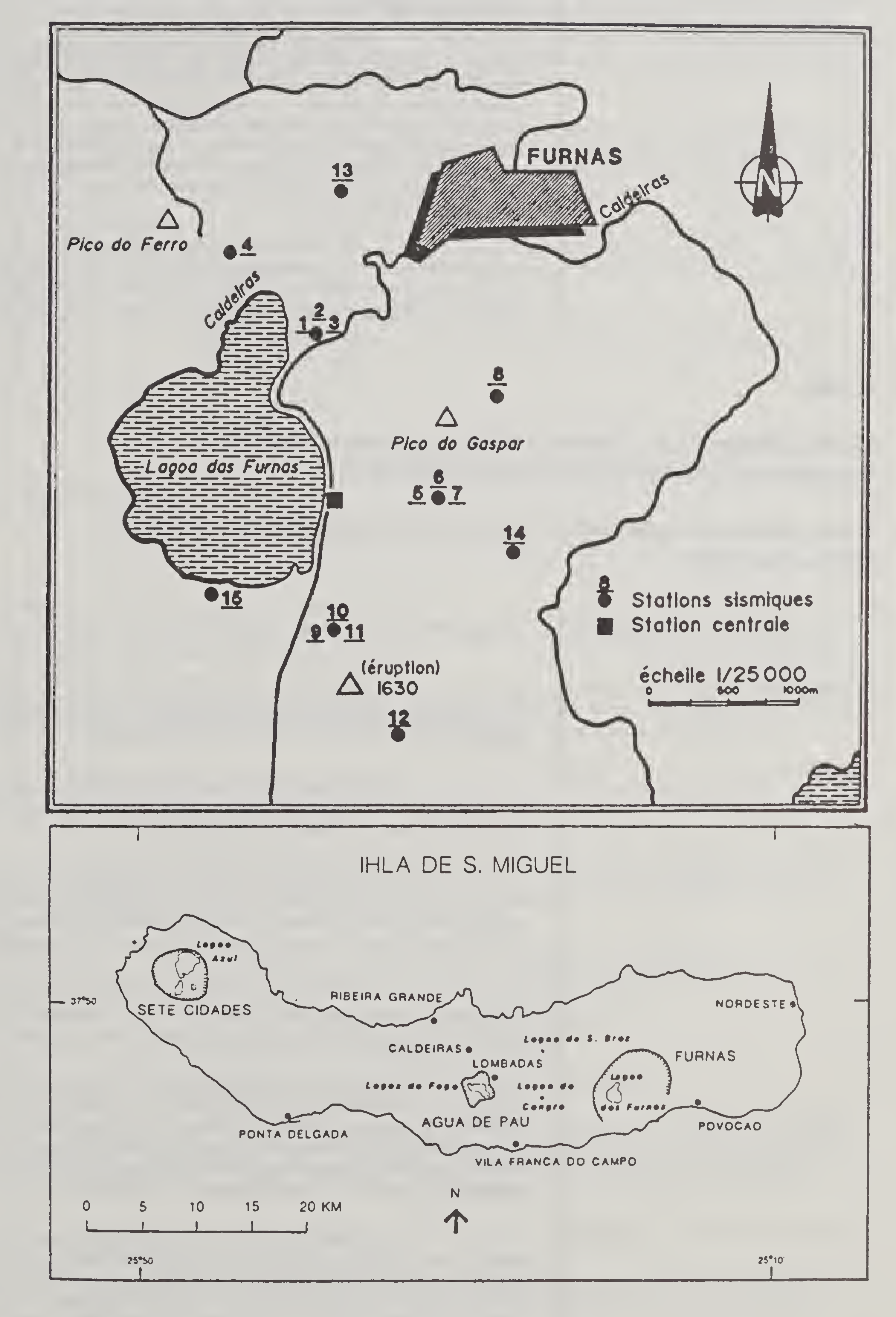


Fig. - Emplacement des stations sismiques sur le site de Furnas

Dans le cadre d'un projet de coopération franco-açoréen (BRGM/IMRG - Centre de Volcanologie de l'Université des Açores) une campagne d'écoute sismique s'est déroulée du 14 novembre au 23 décembre 1985 sur la caldeira de Furnas (Açores). L'équipement d'acquisition numérique de l'IMRG était couplé à un réseau de 15 sismographes répartis sur environ 15 km² (cf. fig.).

Cette mission a atteint les deux objectifs qui lui étaient assignés :

- Objectif scientifique et technique : enregistrement sélectif des microséismes et pré-localisation quasi-immédiate (1 mn) des évènements, avec avec conservation sous forme numérique des signaux en provenance des quinze voies du réseau d'écoute, pendant toute la durée de ces évènements.

- Objectif commercial : concrétisation, grâce à cette démonstration, de la première phase d'une coopération açoréano-française dans le domaine du risque sismo-volcanique, risque particulièrement élevé aux Açores. Les Açoréens envisagent dans une deuxième phase l'acquisition d'une copie de notre équipement.

Du point de vue technique, notons la remarquable fiabilité de la chaîne d'acquisition IMRG dans des conditions météorologiques difficiles (pluies incessantes, orages, vents violents) : sur 221 détections enregistrées (3 sismographes verticaux en détection sur les 15 du réseau), moins de 10 % sont dues à de fausses alertes. Malgré l'absence d'évènement sismique d'origine strictement locale, nous avons pu enregistrer une crise sismique d'environ 150 évènements pendant 24 heures, localisée à une douzaine de km à l'W.SW du réseau. Par ailleurs, deux enregistrements de bruit de fond de 12 minutes chacun ont eu lieu toutes les nuits.

Les difficultés météorologiques rencontrées imposent à l'avenir de porter l'effort sur des protections anti-foudre et sur les transmissions. Cette évolution nécessaire de la chaîne d'acquisition se fera dans le cadre de phases ultérieures de coopération avec nos partenaires açoréens.

RS 2080

L'aléa sismique aux Petites Antilles. Premières données du réseau d'accéléromètres à la Guadeloupe

Seismic hazard in the Lesser Antilles. First data from the Guadeloupe strong motion accelerograph system

J. DAGAIN

Pour la première fois en France, un réseau d'accéléromètres SMA.1 a enregistré une secousse sismique forte (intensité VI).

L'épicentre de ce séisme qui a eu lieu le 16 Mars 1985, a été localisé à 16° 58 de latitude Nord et 62° 13 de longitude Ouest, soit à une centaine de kilomètres au NNW de la Guadeloupe entre les îles de Nevis et Montserrat. La magnitude est de 6 sur l'Echelle de Richter.

En Guadeloupe, l'intensité ressentie a été de l'ordre de IV à V avec un maximum de VI dans la région de la Ville de Pointe-à-Pitre. Le choc principal a été suivi de nombreuses répliques.

Enfin le foyer est très superficiel puisque sa profondeur est inférieure à 10 km. Ce tremblement de terre a présenté un intérêt tout particulier car il a déclenché 4 des 9 accéléromètres du réseau installé en Guadeloupe par le B.R.G.M. L'un d'eux a redéclenché sur la réplique majeure.

Les accélérations maximales notées aux stations du Nord de l'île sont compatibles avec les lois d'atténuation classiques. Par contre, celles enregistrées à Pointe-à-Pitre sont amplifiées d'un facteur 3 à 4.

Les SMA.1 ont déclenché à l'arrivée des ondes S, les ondes P ayant eu un niveau trop faible, et le début des ondes S (0,5 s au maximum) a été perdu par le délai de mise en route des SMA.1. Les accélérogrammes numérisés et corrigés au CEA montrent une composante S horizontale dominante, dont la polarisation est compatible avec celle des ondes SH (perpendiculaire à la direction source - station), appuyant l'hypothèse d'un séisme intraplaque Caraïbe.

La probabilité d'occurrence de grands séismes de subduction (magnitude supérieure à 8) aux Petites Antilles est faible, du fait d'un glissement interplaque très largement asismique. Par contre, des séismes de magnitude 7.5 à 8.0 (plus probablement de type intraplaque) sont à prendre en compte pour l'évaluation de l'aléa sismique. Ainsi le séisme du 8 Février 1843, le plus grand séisme historique

des Petites Antilles, a produit des intensités IX en Guadeloupe et à Antigua, sur une distance de 100 km. La secousse présenta deux phases distinctes de durée totale supérieure à la minute.

Des séismes superficiels, de plus faible magnitude, peuvent eux aussi être destructeurs sur des distances plus réduites. Ainsi, le séisme de 1897, de zone épicentrale à moins de 3 km de Pointe-à-Pitre, de magnitude 5.5 à 6.0, a produit l'intensité VII dans cette ville, et doit être associé à l'activité de failles normales à quelques kilomètres de profondeur.

Par ailleurs, des effets de site importants dans la région de Pointe-à-Pitre se traduisent par une amplification d'un facteur 2 à 4 des mouvements au rocher par rapport aux autres régions de Guadeloupe, mise en évidence par les accélérogrammes du séisme du 15.03.85, et par une sur-amplification des secousses sur les formations compressibles épaisses et saturées d'eau (séisme de 1897).

L'importance économique et sociale croissante du secteur de Pointe-à-Pitre, conjointe à l'aléa sismique très spécifique font de cette zone un lieu à haut risque sismique comparativement au reste de l'île et y rendent nécessaire des études de microzonage ainsi que l'implantation d'accéléromètres supplémentaires pour l'étude de la réponse de structures. Enfin, l'installation de tels appareils dans les îles du Nord (Nevis, Antigua, Montserrat) permettrait d'affiner la connaissance des lois d'atténuation régionales.

Parallèlement à ces développements, il serait souhaitable de mettre en place un réseau semblable en Martinique, où la sismicité des 4 derniers siècles s'est ressentie moins violemment mais plus fréquemment qu'en Guadeloupe.

REFERENCES : BERNARD P. - LAMBERT J. (1985) - Macro-sismicité des Petites Antilles - Compte rendu des effets du séisme du 16-03-85 et exploitation des accélérogrammes - Rapport BRGM 86.SGN.003 GEG.

BERNARD P. et LAMBERT J. - Aléa sismique aux Petites Antilles : nouvelles données de la sismicité historique et instrumentale - AFPS Janvier 1986.

RS 2081

Nouveau zonage sismique de la France

New seismic zoning of France

J. DESPEYROUX*
P. GODEFROY

Ce travail, réalisé à la demande de la Délégation aux risques majeurs, avait plusieurs objectifs :

- actualiser, en fonction des connaissances acquises au cours des dernières années, le zonage annexé aux règles parasismiques PS 69 et addenda 1982, qui définit l'emprise de ce règlement à l'échelle du territoire national,
- introduire des principes nouveaux dans l'établissement de ce zonage permettant d'en garantir l'homogénéité et la "transparence" (c'est-à-dire pouvoir en justifier clairement l'origine),
- établir et argumenter des propositions concrètes relatives aux intensités des actions de calcul à prendre en compte dans les zones ainsi définies, applicables dans le cadre du règlement en vigueur (règles PS 69, révisées 1982) et du règlement futur (en cours d'élaboration).

Pour répondre à ce triple souci, l'étude a été conduite selon une succession d'étapes qui sont présentées en distinguant deux parties :

. la première concerne le zonage proprement dit,

. la seconde, les intensités de calcul.

Les principales de ces étapes sont les suivantes :

- définition de l'approche optimale pour l'établissement de ce zonage : paramètres à considérer, choix de critères quantitatifs aussi précis et objectifs que possible, méthode d'évaluation des paramètres (approches déterministe, probabiliste, "statistique", de l'aléa sismique),
- conception d'une méthodologie permettant la mise en oeuvre de cette approche "optimale",
- création d'outils spécifiques répondant aux besoins de cette méthodologie, en particulier :

. un fichier de sismicité, adapté du fichier SIRENE géré par le BRGM,

. un programme de calcul permettant d'établir automatiquement les cartes des paramètres étudiés sur l'ensemble de la France (métropolitaine), et d'obtenir un résultat brut sous forme de "zonage provisoire",

- développement de tests de sensibilité des résultats aux hypothèses de calcul et aux sélections de données pratiquées,

- confrontation de ces résultats et établissement du document de référence, en fonction des incertitudes mises en évidence ; ce document de référence ou "zonage physique" de la France traduit l'emprise minimale des secteurs où la Puissance Publique juge nécessaire la prise en compte de l'aléa sismique pour la construction d'ouvrages courants, ainsi que la gradation admise au sein de ces secteurs, selon les caractéristiques de l'aléa sismique régional,

- traduction de ce document "technique" sous forme d'un document "administratif" (classification cantonale), facilitant l'application pratique du règlement.

La seconde partie cherche à préciser les conditions dans lesquelles peuvent être fixés les niveaux d'agression à prendre en compte dans les projets de constructions parasismiques et à éclairer les dispositions qui s'y rapportent dans les règles existantes ou en projet :

- en s'appuyant sur un rappel relatif aux concepts modernes de sécurité structurale, définis d'abord dans un cadre très général,

- en détaillant le problème de la sécurité des constructions en zone sismique, en particulier celui du choix des paramètres représentatifs de l'agressivité des secousses telluriques et du cadre de raisonnement et de décision pouvant sous-tendre l'arbitrage économique à effectuer,

- en décrivant les dispositions pratiques introduites et les propositions formulées à cet égard, dans le règlement existant comme dans le projet de nouvelles règles PS, en préparation.

* Président de l'Association française de Génie parasismique, membre du Comité consultatif international des Nations-Unies sur le risque sismique.

RS 2082

Etude de l'influence de la géométrie des formations superficielles et de leur saturation en eau sur la propagation des ondes sismiques

Study of the influence of the geometry and water saturation of surficial formations on the propagation of seismic waves

L. GELI

Ce travail est une contribution à l'étude numérique de la propagation des ondes sismiques dans les formations géologiques superficielles.

La première partie traite de l'influence d'un arrangement géométrique complexe des formations superficielles. La méthode utilisée combine celle d'AKI-LARNER et celle de THOMSON-HASKELL.

Deux phénomènes jouent simultanément : d'une part, "l'effet 1D", dû au contraste d'impédance entre les différentes couches, d'autre part "l'effet 2D", qui résulte de la diffraction des ondes sismiques sur les interfaces irréguliers. A partir d'une étude systématique, réalisée sur des configurations géométriques idéalisées, il apparaît que ces deux effets sont fortement couplés. Il est donc impossible de dégager des tendances générales qui permettraient de décomposer le calcul d'une structure complexe en deux sous-problèmes plus simples.

Pour les applications au génie parasismique, il s'avère donc nécessaire de traiter, pour les études détaillées, chaque site, cas par cas. Pour cela, un programme de calcul a été mis au point, dans le cas des ondes SH, applicable à des configurations géologiques réelles, de géométrie relativement complexe.

La deuxième partie aborde le problème de l'influence de la saturation en eau dans les formations saturées très perméables (perméabilité $> 10^{-12}$ m^2).

Le modèle utilisé est celui de BIOT, avec quelques compléments issus de la théorie de l'homogénéisation. Ce modèle s'avère être un outil pratique extrêmement puissant.

On présente des cas théoriques où l'onde P2 joue un rôle prépondérant dans le mécanisme d'atténuation des ondes de compression. A partir de là est proposé un mécanisme de génération des ondes P2 aux frontières du milieu poreux, en fonction des résonances globales de la structure.

Il est apparu crucial d'insister sur l'importance toute particulière de l'interaction fluide-solide aux frontières du milieu poreux : lorsque la perméabilité est de l'ordre de 10^{-10} m^2 environ, il est nécessaire de prendre en compte explicitement la présence du fluide, de façon à modéliser correctement ces interactions.

Le résultat principal est donc qu'il est alors impossible (sous peine d'erreurs supérieures à 100 %) d'assimiler le matériau poreux à un milieu monophasique viscoélastique équivalent.

Enfin, le calcul de la réponse sismique d'une vallée alluviale saturée d'eau montre que : d'une part, la diffraction des ondes sismiques sur l'interface irrégulier vallée-bedrock accentue les effets dus à la nature diphasique du matériau, d'autre part, la très forte atténuation, due à la présence de fluide, a tendance à réduire les effets typiquement 2D, dus à la diffraction des ondes.

REFERENCE

GELI L. (1985) - Propagation d'ondes sismiques dans les formations superficielles : effet d'un arrangement géométrique complexe et influence de la saturation en eau. Thèse. Grenoble, juin 1985.

Géotechnique

RS 2083

Influence des futurs aménagements du Louvre (Paris 1er) sur les écoulements d'eau souterraine. Modélisation

Modeling the influence of planned developments of the Louvre (Paris) on groundwater flow

P. ANDRE
B. MAZENC

Dans le cadre de sa mission d'assistance technique auprès de l'établissement public du Grand Louvre, le Service géologique Ile de France a poursuivi l'étude par modèle mathématique hydrodynamique des interactions entre le projet d'aménagement du Grand Louvre et les nappes d'eau au droit du site.

Le programme VTDN fonctionnant sur le VAX 1011 du Centre scientifique et technique du B.R.G.M. à Orléans a été mis en oeuvre pour répondre aux nouvelles questions posées soit par le maître d'ouvrage, soit par les bureaux d'études.

Dans un premier temps, il a été procédé à une vérification des hypothèses de calcul par un calage en régime transitoire, réalisé à partir de données recueillies lors des crues hivernales.

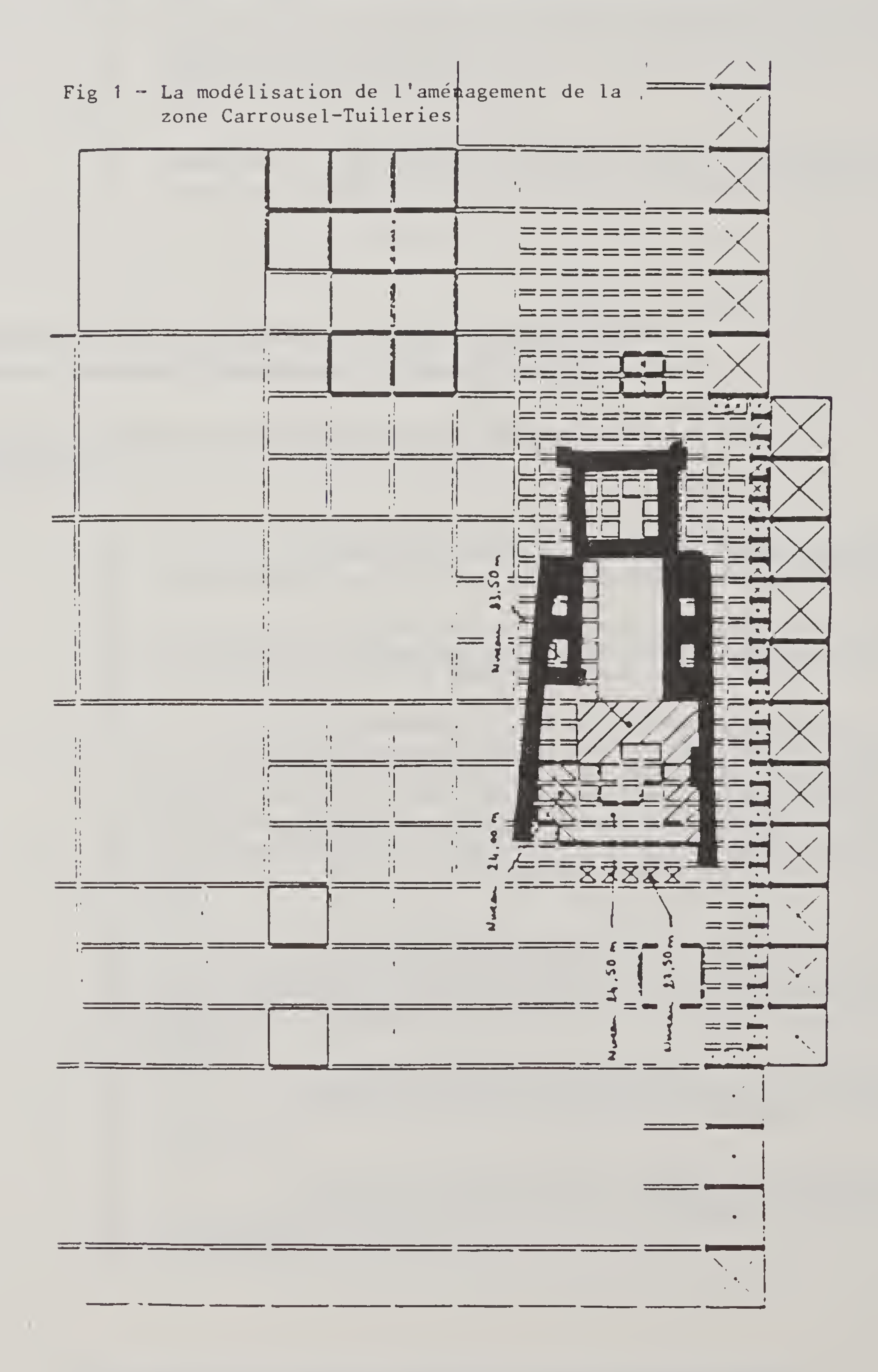


Fig 1 - La modélisation de l'aménagement de la zone Carrousel-Tuileries

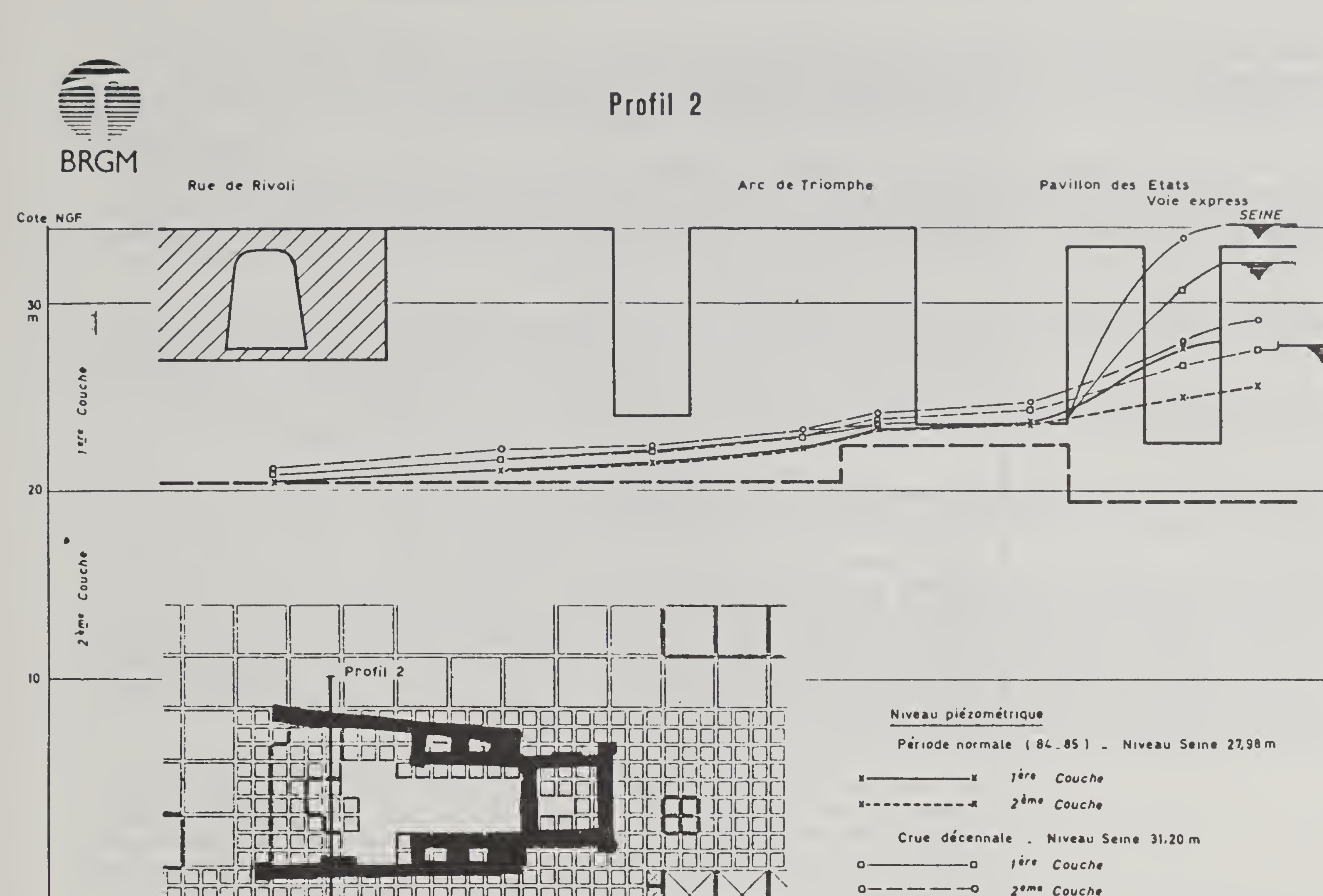


Fig. 2

Par la suite, une redéfinition du maillage (fig. 1) pour tenir compte d'une modification du projet au niveau de la Cour Napoléon et de l'extension de celui-ci au droit du Carrousel et des Tuileries a dû être réalisée.

Les nouvelles simulations, réalisées en régime transitoire et pour des hypothèses de crues de Seine décennales et centennales, ont permis de déterminer l'influence de ces nouveaux aménagements sur les sous-sols du Louvre et du projet, ainsi que les débits à exhaurer. Des profils transversaux à la Seine ont été tracés (fig. 2) permettant de connaître les niveaux piézométriques au droit du site.

Ces résultats ont conduit la maîtrise d'ouvrage et la maîtrise d'oeuvre à modifier légèrement le futur projet au niveau du Carrousel pour diminuer les risques d'inondation de certains locaux souterrains.

REFERENCES :

ANDRE P., MAZENC B. - Grand Louvre. Modélisation des écoulements souterrains. Complément d'étude. Rapport B.R.G.M. 85 IDF 062.

ANDRE P., MAZENC B. - Grand Louvre. Modélisation des écoulements souterrains. Extension du modèle vers l'ouest. Zone du Carrousel-Tuileries. Rapport B.R.G.M. 86 IDF 020.

RS 2084

Cartographie géotechnique en vue de l'établissement du POS de Corbeil-Essonnes (Essonne)

Geotechnical mapping foor land-use planning in Corbeil-Essonnes (Essonne Dept)

Les Services techniques de la ville de Corbeil-Essonne ont confié au Service géologique Ile de France du Bureau de recherches géologiques et mi-

J. SARRADIN

nières, la cartographie géotechnique en vue de l'établissement du P.O.S. de Corbeil-Essonne (91) qui a comporté la réalisation d'une carte générale à l'échelle de 1/10.000 pour l'ensemble de la ville et celle détaillée à l'échelle de 1/5.000 de trois secteurs possibles.

Cette cartographie a abouti à la différenciation en zones de facteurs géotechniques de trois types de secteur : la confluence Seine-Essonne, les versants et le plateau. A partir des caractères des formations constituant les différentes zones, il a été élaboré, par secteur et par zone, un ensemble de recommandations concernant l'aptitude à la construction, la stabilité des terrains et les problèmes liés à l'eau.

Le secteur de la confluence Seine-Essonne regroupe les zones occupées par les Alluvions anciennes (Fy) et modernes (Fz) pour lesquelles il faudra considérer la présence de tourbe et la faible profondeur de la nappe phréatique pour la conception des fondations et celle des soutènements de fouilles. La protection contre le risque d'inondation sera améliorée en poursuivant l'aménagement des berges dans la partie sud de Corbeil-Essonne .

Le secteur des versants est le siège d'un problème quasi général de stabilité du fait de la nature argileuse des versants (Argile verte g^{1a}, et Marnes e^{7c}) de la pente généralement supérieure à 10 % et de la couverture colluviale également argileuse. Dans ces conditions, il y aura lieu de prendre toute disposition pour améliorer la stabilité, en particulier en limitant la hauteur des constructions. Il est même recommandé de ne pas construire dans la zone de l'Argile verte (g^{1a}). Des restrictions de constructions et d'aménagements ont également été prévues au voisinage de la falaise de Calcaire de Champigny (e^{7b}). En ce qui concerne l'assainissement, l'extension du réseau général est à considérer en priorité dans ce secteur en raison des problèmes de stabilité des terrains et pour éviter la pollution de la nappe du Calcaire de Champigny (e^{7b}).

Le secteur du plateau est supporté par le Calcaire de Brie (g^{1b}) qui peut occasionner de par son hétérogénéité des problèmes de tassement différentiel. Il est recouvert essentiellement par le limon des plateaux (Lp) qui peut recevoir des descentes de charges modérées ou constituer les plates-formes de dallages ou de chaussée moyennant un drainage correct. L'assainissement généralisé de ce secteur contribuera à améliorer la situation de celui des versants en contrebas.

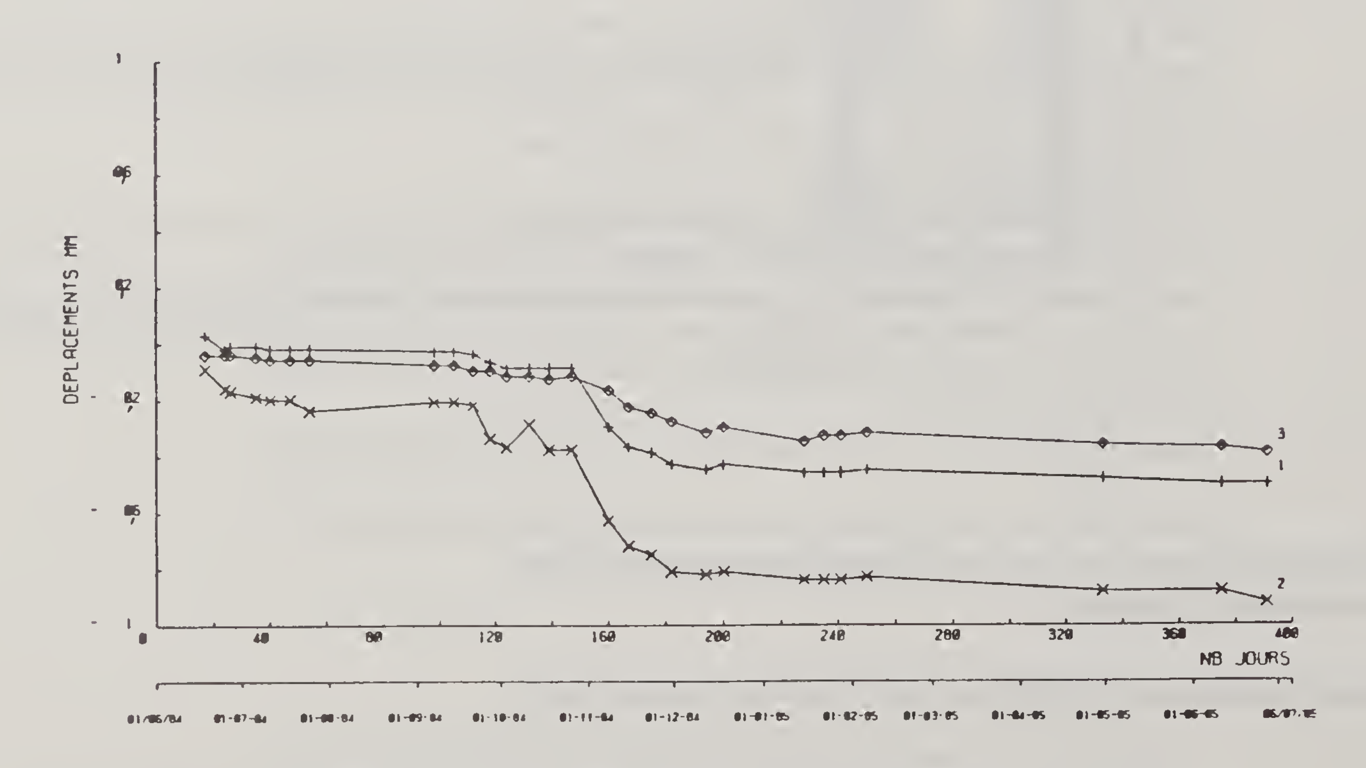
REFERENCE :

BARON J.C. et SARRADIN J. - Cartographie géotechnique en vue de l'établissement du P.O.S. de Corbeil-Essonnes (91). Rapport du B.R.G.M. 85 SGN 197 IDF.

RS 2085

Auscultation d'un chantier de sous-niveaux abattus à la mine d'or de Salsigne (Aude)

Monitoring of a sub-level stoping exploitation at the Salsigne gold mine (Aude Dept)



Exemple d'évolution avec le temps des déplacements des trois points d'ancrage d'un extensomètre triple.

F. WOJTKOWIAK

La confrontation des résultats des calculs prévisionnels de comportement des structures minières avec leur comportement réel est extrêmement précieuse pour valider les moyens de calcul utilisés pour leur dimensionnement. Elle n'est malheureusement pas souvent possible.

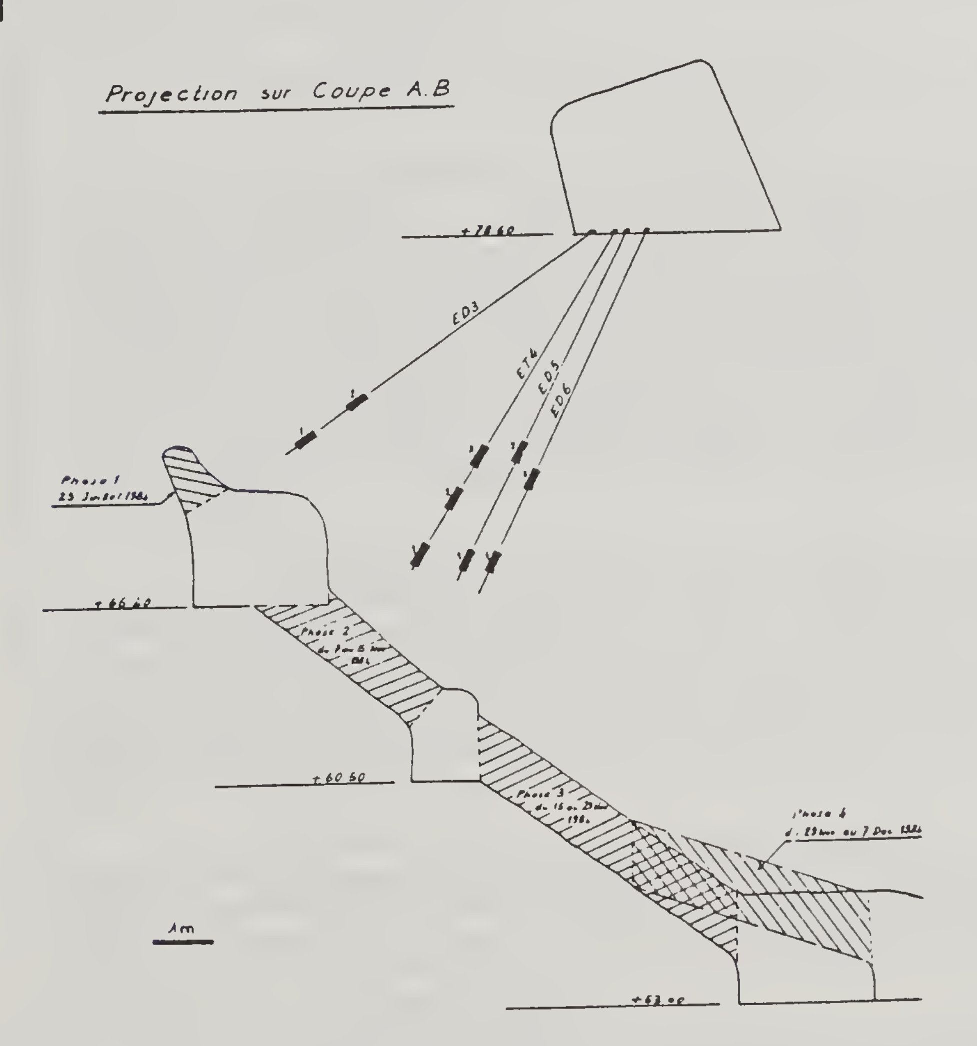
Le BRGM a eu l'occasion de pouvoir instrumenter, dans la mine d'or de Salsigne, un quartier destiné à être exploité par sous-niveaux abattus avant sa mise en exploitation, ce qui a permis de suivre le comportement des terrains dès le début de celle-ci et jusqu'à son achèvement. Les appareils mis en place sont couramment utilisés en génie civil, mais beaucoup plus rarement en mine.

Le réseau d'auscultation installé comportait des profils de mesure de convergence au fil invar et des extensomètres à tiges en forage. L'implantation de ces différents dispositifs a été définie en étroite collaboration avec la mine préalablement à la mise en exploitation.

En dépit des conditions très dures régnant en contexte minier, ces appareils, de conception simple et robuste, et de mise en oeuvre aisée, se sont parfaitement comportés.

Des modifications du programme d'exploitation après leur mise en place ont fait que certains dispositifs n'ont enregistré aucun déplacement des terrains.

Ceci dit, les déplacements au sein du massif consécutifs aux différentes phases d'exploitation ont pu être mesurés sur certains extensomètres. L'amplitude globale des déplacements mesurés n'excède pas quelques dizièmes de mm. D'autre part, sur une période de six mois qui a suivi la fin de l'exploitation, aucune évolution anormale des déplacements n'est notée. Autrement dit, au voisinage immédiat de l'exploitation, le massif conserve jusqu'à ce jour un comportement parfaitement élastique, ce qui confirme le bien-fondé des calculs reposant sur cette hypothèse de loi de comportement.



Exemple de disposition des extensomètres triples par rapport au filon exploité.

RS 2086

Etude du rôle des facteurs géologiques dans la stabilité des carrières souterraines

Study of the role of geological factors in the stability of underground quarries

C. BEAUFRERE

La stabilité des carrières souterraines est difficile à évaluer à moyen et long termes. Dans le but de connaître les facteurs et d'expliquer les mécanismes qui sont responsables de son évolution, nous avons entrepris l'étude du rôle des phénomènes exogènes, des hétérogénéités et des disconti-

nuités du milieu et du matériau dans 4 carrières souterraines de la Gironde (France). En nous appuyant sur l'analyse statistique des données, nous avons mis en évidence le rôle prépondérant de la porosité et de la teneur en argiles dans le comportement mécanique du calcaire. A l'échelle de la carrière, le rôle des facteurs géologiques semble moins pépondérant que celui des facteurs. géométriques et mécaniques. C'est toutefois en les prenant en compte que l'on peut parvenir à une bonne compréhension du comportement du matériau vis-à-vis des phénomènes de fluage et de fatigue, dont le rôle semble primordial dans la stabilité des carrières souterraines.

A ce propos, le dispositif de surveillance "CENSYA-LEB" mis en place dans la carrière de Camblanes est susceptible d'apporter des indications d'un grand intérêt sur le comportement de la carrière à moyen terme. Elle peut, à ce titre, être considérée comme un véritable site expérimental de mesures du fluage des piliers.

ENERGIES

Combustibles solides

RS 2087

Le gisement de charbon de Lucenay-les-Aix (Nièvre) : poursuite de la reconnaissance par sondages. Confirmation d'une possibilité d'exploitation à ciel ouvert du secteur nord

Lucenay-les-Aix coalfield (Nièvre Dept, France): continuation of drilling exploration. Confirmation of a potential opencast mine in the northern part of the coal-field

M. DONSIMONI
avec la collaboration de
J.F. BECQ-GIRAUDON
M. DEGOUY
G. GONZALEZ
J.F. PASQUET
C. REMOND

Dans la Nièvre, la reconnaissance du gisement de Lucenay-les-Aix s'est poursuivie par l'exécution de deux campagnes de forages (8 sondages - LY.O à LY.V- totalisant 3 202 m de foration). Compte tenu des résultats acquis en 1984 par le sondage LY.N, qui recoupa 79 m de charbon appartenant au "faisceau inférieur" entre 233 m et 243 m de profondeur, 7 sondages sur 8 furent réalisés dans le secteur nord du gisement afin de préciser les possibilités de valorisation de ce secteur par exploitation à ciel ouvert : 3 sondages (LY.P, LY.Q et LY.R), au titre de l'Inventaire charbonnier avec participation financière du département de la Nièvre ; 4 sondages (LY.S, LY.T, LY.U et LY.V) sur fonds de concours de la Caisse nationale de l'Energie.

Les résultats de ces sondages furent particulièrement positifs tant au plan strictement géologique qu'au plan minier :

- Au plan géologique, le sondage LY.Q, implanté au NW du secteur nord fut très fructueux pour la compréhension de la genèse des couches épaisses dans le bassin de Devay-Lucenay. Il recoupa en effet l'accident synsédimentaire principal d'orientation présumée N 20°-30° E qui constitue à l'Ouest du gisement la limite de l'aire de sédimentation du "faisceau inférieur" autuno-stéphanien. Il confirma ainsi le modèle géodynamique qui sert depuis 1982 de guide de recherche à l'échelle locale, modèle selon lequel les couches de charbon puissantes de ces gisements se sont formées dans des dépressions en demi-graben à dissymétrie positive est-ouest engendrées par des failles synsédimentaires ayant fonctionné lors de la phase de distension fini-stéphanienne. Ce processus de dépôt explique le phénomène d'épaississement du "faisceau inférieur" dans le sens est-ouest.

- Au plan minier, sur les 7 sondages réalisés, 6 se révèlerent positifs. Ils traversèrent de 16 m minimum (au LY.R) à 82 m maximum (au LY.T) de charbon appartenant essentiellement au "faisceau inférieur" autuno-stéphanien. La partie exploitable de ce charbon s'inscrit entre 202 m à 260 m de profondeur pour le "toit" et 285 m à 355 m de profondeur pour le "mur". L'épaisseur moyenne de charbon recoupée calculée sur ces six sondages s'établit à 47 m. Cette moyenne passe à 52 m si l'on intègre les résultats du sondage LY.N réalisé en 1984 dans le même secteur nord.

Ce secteur, retenu pour le projet d'exploitation à ciel ouvert, se présente sous la forme d'un polygone à cinq côtés, limité par des failles normales de 45 m à 240 m de rejet. Il couvre une superficie d'environ 0,9 km2. Le calcul des réserves de charbon en place, effectué selon la méthode des polygones, aboutit en première estimation à un volume de 46,5 Mm3, soit, pour une densité de 1,4, à un tonnage de 65 Mt.

- Au plan de la qualité du combustible, les analyses industrielles, effectuées par le laboratoire de Marienau sur 24 échantillons prélevés sur la totalité du charbon recoupé par les sondages LY.S, LY.T, LY.U et LY.V, ont montré que celui-ci se situe à la limite des lignites et des flambants secs du fait des caractéristiques suivantes :

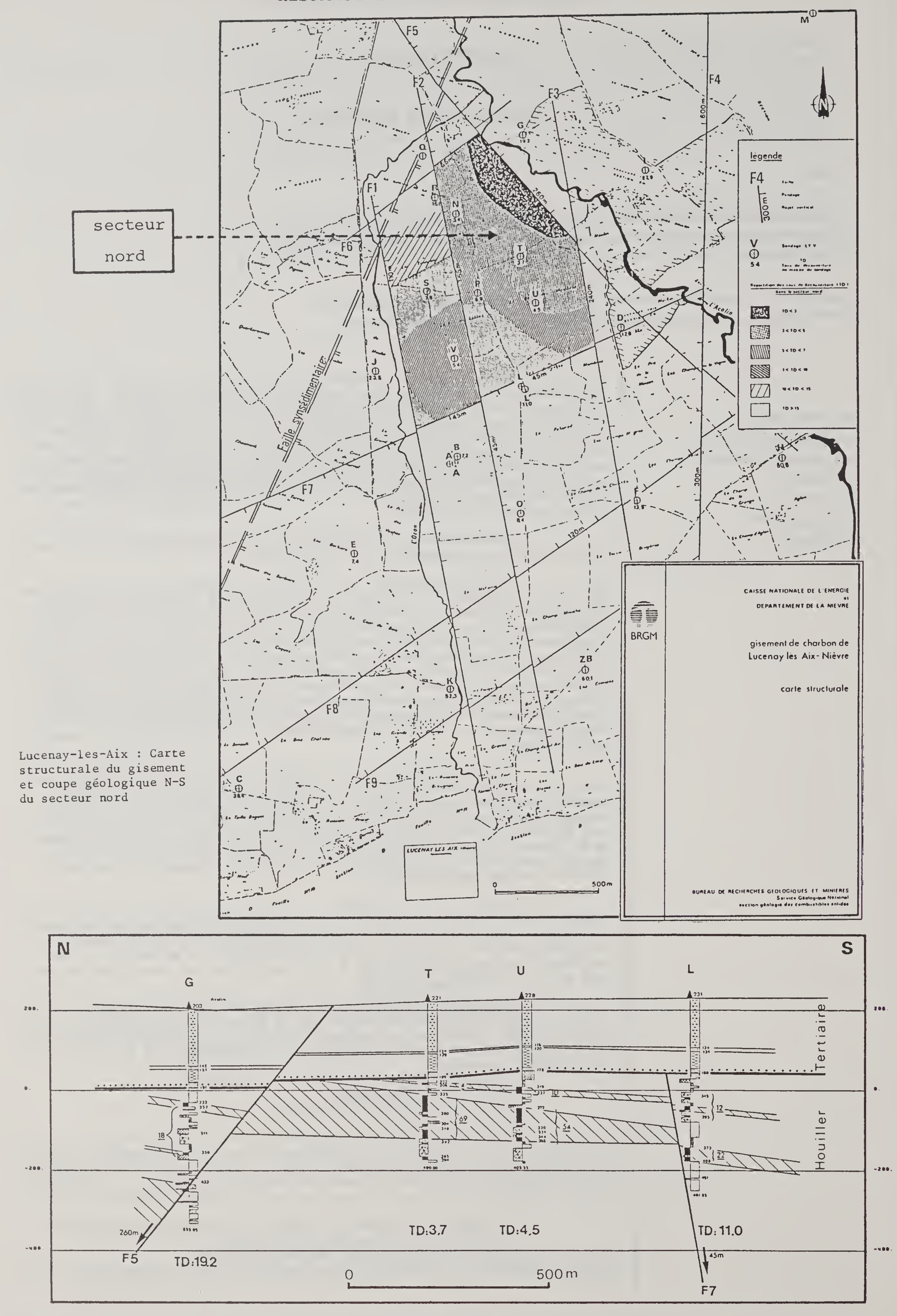
. pouvoir réflecteur de la vitrinite : 0,46
. MV/pur : 41,6% en moyenne
. PCS/pur : 7 800 à 7 900 kcal/kg.

L'épuration par flottation du charbon semble tout à fait réalisable. En flottant avec une liqueur d'une densité voisine de 1,50, le rendement moyen de charbon épuré pourrait être de l'ordre de 75%. Le taux de cendres du charbon lavé sera alors inférieur à 10% et sa teneur en soufre inférieure à 1%. Il faut également souligner l'absence quasi-totale de chlore (toujours inférieur à 0,09%).

En résumé, si l'on prend en compte les caractéristiques suivantes :

. PCI/sec (à 10% de cendres) = 6,766 th/kg
. soufre total du charbon lavé voisin de 0,8%,

on peut considérer le charbon de Lucenay comme un excellent combustible pour chaudière.



Lucenay-les-Aix : Carte structurale du gisement et coupe géologique N-S du secteur nord

Ainsi, les résultats obtenus à l'issue de ces deux campagnes de reconnaissance 1985 s'inscrivent favorablement dans une perspective de valorisation d'une partie du gisement par exploitation à ciel ouvert. Les données géologiques acquises ont servi de support à une esquisse technico-économique que la Direction des activités minières du BRGM a réalisé pour le compte du département de la Nièvre.

Cependant, la quantité de sondages réalisés dans le secteur nord (correspondant à une maille moyenne de 300 m x 400 m) demeure encore insuffisante pour pouvoir effectuer un calcul précis des réserves, avoir une connaissance exacte de la géométrie du gisement et bien appréhender les variations qualitatives verticales et latérales du charbon exploitable. D'autre part, de nombreux paramètres d'ordre hydro-géotechniques ont été jusqu'ici laissés de côté et devront être acquis par d'autres sondages si l'on décide de passer à la phase d'étude préliminaire de faisabilité. Un programme de travaux et d'études complémentaires a donc été établi dans ce sens.

REFERENCE

- DONSIMONI M. (1985) .- Le gisement houiller de Decize-Devay (Nièvre, France). Influence d'une tectonique synsédimentaire sur la genèse d'une couche épaisse .- 10ème Congrès international de Stratigraphie et de Géologie du Carbonifère, Madrid, 1983, vol. 3, pp. 333-341.

RS 2088

Maturation du charbon dans le bassin de Graissessac (Hérault, France)

Coal maturation in the Graissessac basin (Hérault Dept, France)

J.F. BECQ-GIRAUDON
G. GONZALEZ

En 1969, L. LATOUCHE mettait en relation l'augmentation du rang du charbon du bassin de Graissessac avec une phase de métamorphisme tardif dans la zone axiale de la Montagne Noire. Du fait de la qualité des affleurements (bassin exploité en découverte à l'heure actuelle) et de l'état de la connaissance de la géologie régionale, il a paru opportun, dans le cadre de la synthèse des bassins houillers du Massif central, d'entreprendre l'étude de l'histoire diagénétique de ce bassin au moyen de l'analyse réflectométrique de la vitrinite des charbons.

L'étude réflectométrique (mesure du pouvoir réflecteur de la vitrinite) du charbon du bassin de Graissessac (Hérault) a mis en évidence deux zones qui ont leur propre histoire thermique et qui se calquent précisément sur le schéma structural et paléogéographique du bassin.

Ce dernier est, en effet, constitué de deux cuvettes autonomes et contemporaines : la cuvette occidentale s'étendant du Peras au Puech Grisou, et la cuvette orientale dite de Graissessac (comprenant l'essentiel des exploitations actuelles). Elles sont séparées par un faisceau de failles stéphaniennes (cf. Figure) reprenant les anciens accidents du socle.

Le charbon de la cuvette occidentale présente les plus fortes valeurs de pouvoir réflecteur (de 1,14 à 2,23%). L'apex thermique se situe au centre de la moitié est de la zone étudiée ; il n'est pas lié à la présence des failles séparant les deux cuvettes.

Du point de vue pétrographique, le charbon évolue des houilles grasses et charbons bitumineux aux semi-anthracites (pouvoir réflecteur compris entre 1,90% et 2,60%). L'évolution thermique de la cuvette orientale est plus complexe. Les pouvoirs réflecteurs varient de 0,55% à 1,53%. Ils sont répartis en trois ensembles alignés selon les directions structurales de la cuvette (N 100 - 110).

Un premier ensemble situé au centre de la cuvette, compris entre la rive droite de Graissessac et la vallée de l'Orb, présente les valeurs maximales de pouvoir réflecteur (de 1,27% à 1,53%).

Un deuxième ensemble, situé au Nord du premier, montre une légère décroissance de la houillification (pouvoir réflecteur de l'ordre de 1,20%) qui ne semble pas liée à la zonation structurale, mais plutôt à l'éloignement de la source thermique.

Enfin, un troisième ensemble faiblement évolué, avec des pouvoirs réflecteurs variant de 0,55% à 0,95%, qui inclut une partie de la zone faillée (PR = 0,95%) séparant les deux cuvettes et à laquelle peut être rattachée, à l'extrême Ouest du bassin, le lambeau de l'Aire Raymond (PR = 0,94%).

Du point de vue pétrographique, le charbon est représenté :

CADRE GEOLOGIQUE DU BASSIN DE GRAISSESSAC
MESURES DU POUVOIR REFLECTEUR DE LA VITRINITE

LEGENDE

Permien
Zone orientale
Zone occidentale
Stéphanien
Cambrien
Rhyolithes
Schistes X
• POUVOIR REFLECTEUR %

Cg : Camplong
Gs : Graissessac
PL : Plaisance

0 — 4 Km

- dans le premier et le second ensemble, par des charbons bitumineux "medium volatile" ;
- dans le troisième ensemble, par des charbons bitumineux "high volatile".

La formation des deux cuvettes de Graissessac résulte du fonctionnement du décrochement limitant au nord la zone axiale de la Montagne Noire. L'indépendance structurale et paléogéographique de celles-ci se retrouve jusque dans leur propre évolution thermique ; la limite entre ces zones est nettement marquée par une variation brutale du pouvoir réflecteur de part et d'autre des grands accidents séparant ces deux domaines paléogéographiques.

REFERENCE

-BECQ-GIRAUDON J.F. (1972) .- Contribution à l'étude géologique du bassin houiller de Graissessac (Hérault) .- Thèse 3ème cycle, Orsay, inédit.

RS 2089

Confirmation des indices de lignite au Sénégal

Confirmation of lignite occurrences in Sénégal

J.F. PASQUET
A. WANE*

Dans le bassin côtier du Sénégal, de nombreux forages pétroliers et hydrauliques ont recoupé des indices de "lignite". Ces indices se situent stratigraphiquement: au sommet du Maestrichtien, à l'Eocène moyen (région de Diourbel) et à l'Oligo-Miocène (Casamance).

La reconnaissance de ces indices a été entreprise par la Direction des Mines et de la Géologie du Sénégal, grâce à un financement du F.A.C. Le B.R.G.M. assure l'appui scientifique et technique.

Cette reconnaissance se déroule en deux phases :

- La première a été réalisée en 1984 ; elle concernait les indices "profonds", situés à la limite Crétacé-Tertiaire, dans la région de Diourbel, à une centaine de kilomètres à l'Est de Dakar. Deux sondages carottés ont été réalisés, à proximité de forages pétroliers qui avaient reconnu, par l'étude des déblais de foration, d'épais niveaux de "lignite". Arrêtés aux profondeurs respectives de 411 m et 262 m, ils ont montré le peu d'intérêt que présente cette cible.

- La seconde phase de sondages, qui est prévue pour le premier semestre 1986, a été précédée en 1985 d'une étude bibliographique, suivie d'un contrôle sur le terrain, afin de permettre l'établissement d'un programme de forages courts (inférieurs à 100 m). Elle a permis de dégager deux sujets : le premier se situe lui aussi dans la région de Diourbel, mais concerne la série stratigraphique Yprésien-Lutétien ; le second se trouve en Casamance, dans le Sud du Sénégal.

Dans la région de Diourbel, l'étude de nombeux forages et puits a permis de préciser l'extension de la formation ligniteuse déjà recoupée dans le second sondage de la première phase (sondage de Kolobane, Kb1) et de préciser les conditions paléogéographiques qui ont présidé à son dépôt : ces travaux ont en effet permis de mettre en évidence la relation géographique entre la présence de niveaux à huîtres abondantes et les indices ligniteux, ainsi que l'exclusion mutuelle entre ces indices et les formations à nummulites.

On peut en conclure que la ride actuelle reliant le horst de Ndiass, au Sud-Ouest, à l'anticlinal du lac de Guiers, au Nord-Est, représentait à la fin de l'Yprésien un haut-fond où, sous une faible tranche d'eau, se développaient dans des vasières des bancs considérables d'huîtres. De part et d'autre de ce haut-fond, la tranche d'eau et l'énergie du milieu s'accroissant, toute une faune benthique à pélagique a pu croître. On notera, au moins sur le flanc occidental de la ride, la présence de phosphates liés à cette structure.

Les "lignites", probablement allochtones (démantèlement d'anciennes mangroves), sont souvent très sales, marneux. Ces formations sont toutefois si constantes dans la zone définie ci-dessus qu'elles peuvent permettre de caractériser, en particulier lors de forages destructifs, le sommet de l'Yprésien.

En Casamance, où l'information est plus dispersée (un sondage pour 1 000 km2 environ), il n'a pas été possible de préciser les caractéristiques sédimentologiques des concentrations de matière organique signalées. La réalisation de quatre sondages dans cette région en 1986 le permettra sans doute. On peut toutefois penser que ces concentrations sont liées à d'anciennes mangroves. Un faisceau de 11 m de "lignite", à moins de 80 m de profondeur, constitue l'indice le plus prometteur.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

-PASQUET J.F., WANE A. (1985) .- Confirmation des indices de lignite. Sondages de Tiénaba et de Kolobane .- Rapport BRGM n° 85 SGN 127 GEO.

-PASQUET J.F. (1985) .- Confirmation des indices de lignite. Etude gîtologique. Implantation des forages de la seconde phase dans la région de Diourbel et en Casamance (Sénégal) .- Rapport BRGM n° 85 SEN 056 GEO.

*A. WANE : Direction des mines et de la Géologie, Dakar, Sénégal.

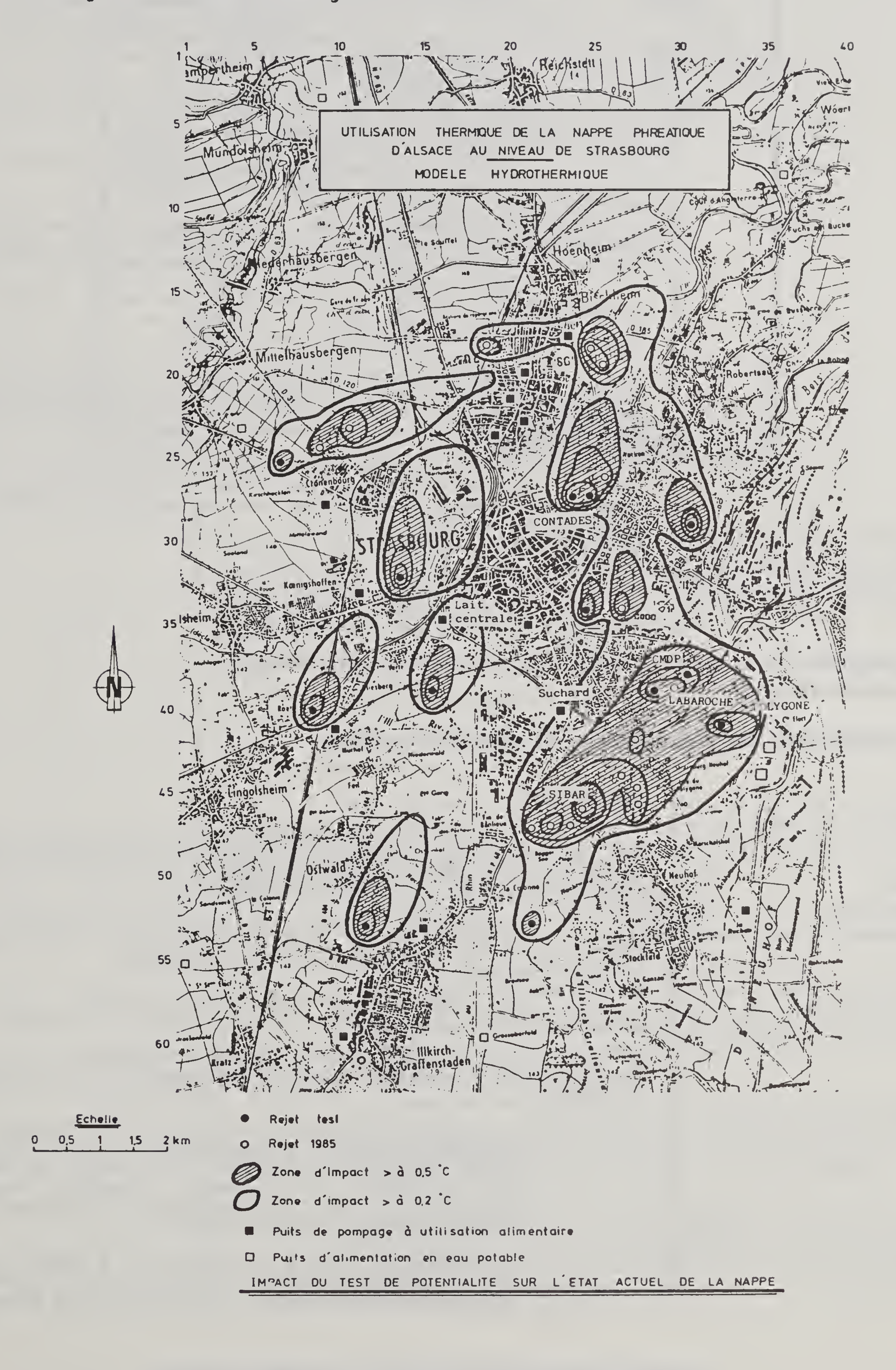
Energies nouvelles

1 - Géothermie basse et moyenne énergie

RS 2090

Utilisation thermique de la nappe phréatique au niveau de Strasbourg

Thermal use of shallow groundwater in the Strasbourg area



Y. BABOT
J.P. VANÇON
G. RINCK
F. MERHEB

Une méthodologie originale a été mise au point pour une meilleure gestion hydrothermique des nappes, à très basse énergie et qui sont de plus en plus sollicitée par une exploitation anarchique des doublets de forages pour pompe à chaleur eau-eau.

L'action a été menée sur la région de Strasbourg (Bas-Rhin) où la densité des installations thermiques est la plus importante en Alsace. Le secteur concerné s'étale sur une surface de 16.000 hectares concernant une vingtaine de communes et une population de 400.000 habitants.

Le programme développé sur plusieurs années est composé de deux phases principales :

1. Etablissement d'un état actuel de la nappe à travers une campagne de mesures piézométriques, chimiques et thermiques.

2. Elaboration d'un modèle hydrothermique destiné à gérer la ressource énergétique et à préserver les utilisations traditionnelles de la nappe.

La modélisation a été testée et ajustée sur un site pilote comprenant un rejet d'eaux chaudes ("Café Hag").

Les bilans thermiques de la nappe montrent un basculement en 1983, les rejets froids dépassent les rejets chauds.

Les prélèvements en nappe pour utilisation thermique augmentent du double en moyenne tous les deux ans. Le bilan thermique global, positif jusqu'à 1980, devient négatif avec l'augmentation plus rapide des rejets froids en nappe.

En 1983, les économies de chauffage dues aux PAC eau-eau s'élèvent à 5.000 TEP/an, se traduisant par 20 MF (uniquement sur frais de fonctionnement) concernant un total de 10.000 équivalents logements.

Les cartes d'impact thermique montrent une intensification chronologique dans les quartiers où interfèrent plusieurs installations (phénomène en cascade). L'impact sur les captages d'eau potable reste négligeable. Certains puits de captages des industries alimentaires risquent d'être atteints par un panache thermique.

La nécessité d'une gestion globale de la nappe phréatique à Strasbourg apparaît urgente, et donc une certaine réglementation concernant essentiellement les puits de rejet.

RS 2091

Etude détaillée de réservoirs géothermiques en milieu sédimentaire. Réservoir du Dogger.

Detailed study of sedimentary geothermal reservoirs. Dogger of the Paris basin

J. ROJAS
C. FOUILLAC
A. MENJOZ

INTRODUCTION

L'exploitation de calcaires du Dogger a connu un essor rapide ces cinq dernières années : 4 doublets en fonctionnement fin 1980 ; 45 doublets mis en service fin 1985 et 8 doublets en cours de raccordement, ce qui fait un total de 106 puits forés (cf. carte ci-dessous).

Actuellement l'exploitation du Dogger concerne 150 000 équivalents logements. Dans les conditions optimales d'exploitation, les 45 doublets en fonctionnement devraient produire environ 150.000 Tep/an.

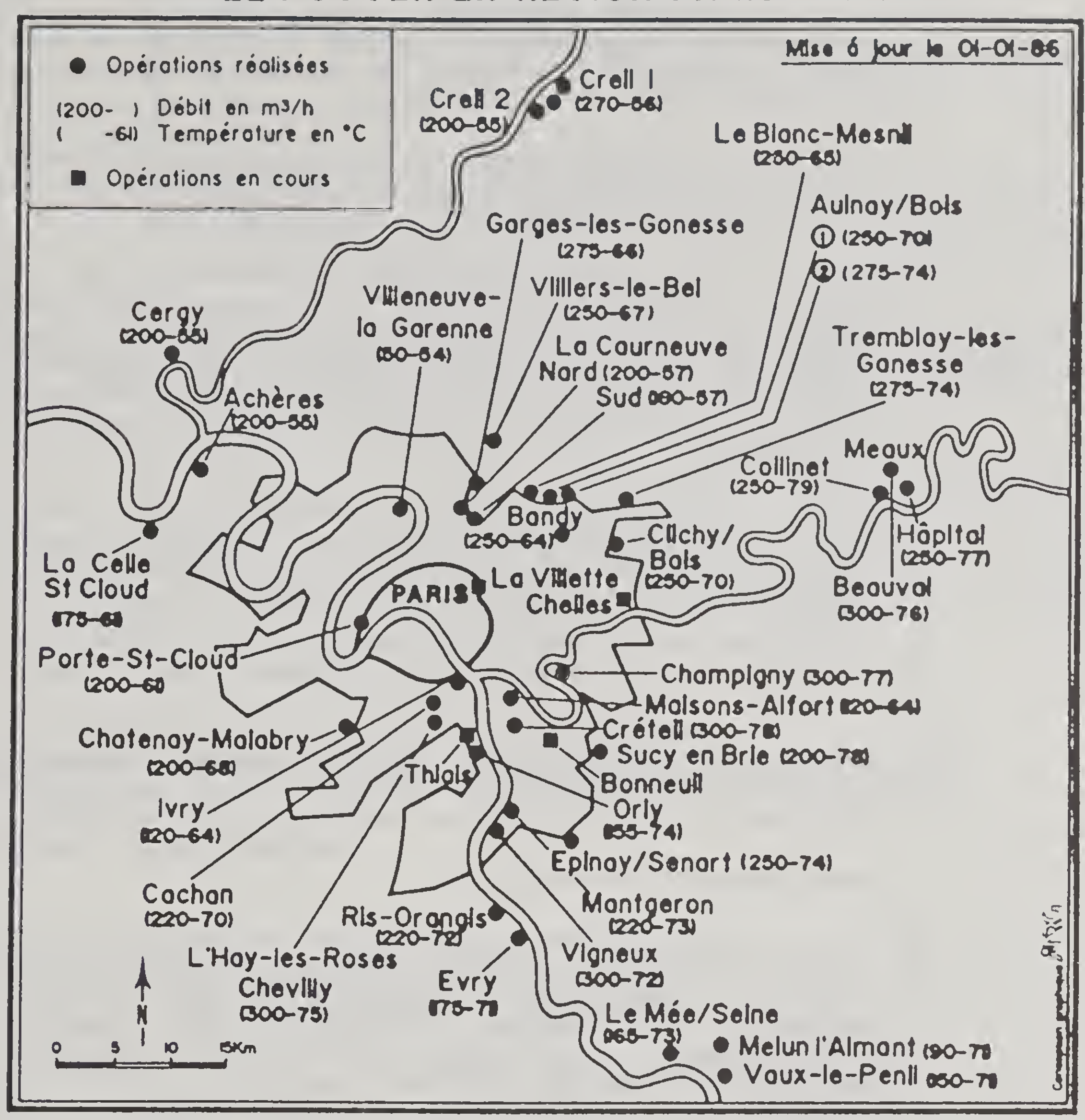
L'implantation de ces ouvrages est très diverse : sur les 106 puits forés, 80 sont situés en région parisienne, soit 75 % de forages.

Cet accroissement de la densité d'implantation des ouvrages, implique plusieurs conséquences quant à la connaissance et à l'exploitation de la ressource :

- le réservoir du Dogger ne peut plus être considéré comme globalement homogène ; il apparait comme un milieu stratifié aux niveaux producteurs hétérogènes et discontinus. Par conséquent la distribution de paramètres principaux (épaisseur, transmissivité, etc...) est plus délicate à cartographier et à introduire dans les modèles de calcul ;

- l'existence de problèmes de corrosion et de dépôts rencontrés sur certaines installations mettent aussi en évidence une hétérogénéité de la composition chimique du fluide géothermal.

OPERATIONS GEOTHERMIQUES EXPLOITANT LE DOGGER EN REGION PARISIENNE



Dans ce contexte, l'exploitation de la ressource géothermique nécessite une connaissance très détaillée du réservoir et du fluide remplissant son réseau poreux et en particulier de variations spatiales de leurs propriétés hydrauliques et géochimiques. Afin d'étudier et de modéliser ces variations souvent complexes, l'IMRG a créé un groupe de travail pluridisciplinaire pour traiter les domaines suivants :

- Sédimentologie,
- Géochimie,
- Modélisation hydrodynamique et thermodynamique.

Par domaine d'étude, les résultats obtenus sont les suivants :

ANALYSE SEDIMENTOLOGIQUE

Cette analyse a abouti à l'élaboration de profils de sondages rassemblant les éléments d'analyse séquentielle, l'indication des lithofaciès et leur interprétation en terme de milieux de dépôt. Ces profils servant ultérieurement de support aux corrélations séquentielles et faciologiques, base de la reconstitution paléogéographique.

Les caractéristiques des différents faciès apportent des informations très utiles pour la localisation des niveaux réservoirs :

- La localisation des réservoirs est liée d'une part au type de dépôt (ils se situent préférentiellement dans les calcaires oolithiques de faciès barrière), d'autre part aux modifications diagénétiques affectant ces faciès (disparition de la porosité primaire par cimentation-compaction, création d'une porosité secondaire par dissolution).

- Les réservoirs se dégradent du côté mer ouverte, vers l'Ouest - Sud Ouest de la zone étudiée (la Celle St Cloud, Chatenay Malabry), par envahissement d'une boue argilo-calcaire de faciès oolithique. Leur qualité s'améliore au fur et à mesure que l'on s'éloigne du sillon marneux (Bonneuil, Epinay-sous-Sénart).

- D'autre part, la répartition verticale des niveaux productifs et apparemment liée à des horizons oolithiques affectés par des dissolutions qui provoquent des variations brutales des caractéristiques pétrophysiques de calcaires. Le cas le plus frappant étant celui du forage d'Orly 1 qui produit sur un intervalle de 3 m, 73 % du débit total.

ETUDE GEOCHIMIQUE

L'étude géochimique a montré tout d'abord la grande variabilité géographique des paramètres chimiques à l'échelon du bassin. Ces variations posent le problème de l'origine des fluides et des constituants dissous. Deux mécanismes principaux ont été évoqués :

- Mélange de deux fluides de salinité différente (Bastide, 85),
- Modification graduelle des solutions par interaction chimique avec l'encaissant (IUNDT et al., 83).

Les études isotopiques complétées en 1985 (FOUILLAC et al., à paraître, août 1986) montrent que la seule hypothèse de mélange ne suffit pas à expliquer l'ensemble des propriétés des fluides. L'importance de modifications ponctuelles des fluides au cours de leur mouvement dans l'aquifère ne doit pas être négligée. Les études isotopiques établissent l'existence d'un composant "jeune" dans le fluide géothermal et donc des circulations non négligeables.

En ce qui concerne les éléments réactifs dissous, Na, K, Ca, Mg, SiO_2, leur concentration est fixée par un équilibre avec un petit nombre de minéraux néoformés. L'étude isotopique du soufre permet de conclure sans ambiguité que la distribution des espèces du soufre ($S^=$, $SO_4^=$) dépend de l'importance de l'activité des bactéries sulfato-réductrices, laquelle s'est développée de façon inégale dans différentes zones du bassin.

On produit des fluides de propriété thermodynamique très différents d'un point à un autre du bassin. Cependant la zonation des compositions chimiques permet de définir une zone de plus grand risque de corrosion et dépôts sur la zone nord - nord ouest de Paris.

MODELISATION DU RESERVOIR

Les travaux de modélisation du réservoir du Dogger ont consisté à développer une méthodologie de traitement des données ponctuelles acquises sur forages, pour parvenir à une estimation de la distribution régionale et de la variabilité des paramètres fondamentaux. Ces paramètres, essentiellement hydrodynamiques et thermiques, associés aux autres résultats de l'analyse détaillée du réservoir (géologie, géochimie,...) sont destinés à enrichir progressivement un ensemble de données structurées (base de données) définissant le modèle de réservoir (modèle géométrique et géologique, modèle physique, modèle mathématique). Les applications principales concernent la connaissance du réservoir, c'est-à-dire la stratification des horizons producteurs et leur continuité, la prévision et la gestion de la ressource géothermique.

Au plan méthodologique, l'approche réalisée repose sur une base purement statistique et toute l'information potentielle en a été extraite. A ce propos, il est remarquable de constater les caractéristiques et tendances générales identifiées, sans aucun a priori d'ordre géologique : tendances régionales, orientations et présences de barrières imperméables, sillon perméable, corrélations avec les isobathes du Dogger. Au stade actuel, la valorisation des résultats et l'évolution vers un modèle physique plus précis ne peut venir que de l'introduction de contraintes géologiques et d'éléments déterministes : localisation spatiale des accidents majeurs connus, modèles géologiques et paléogéographiques conceptuels, mesures géochimiques, limites d'extension des faciès, etc..

Globalement, la température est le paramètre le plus précis, il s'agit effectivement d'une variable régionalisée ; les résultats obtenus constituent un apport quant à la prévision de la ressource géothermique. Pour les paramètres hydrodynamiques, les estimations obtenues constituent une base suffisante pour aborder la modélisation numérique du réservoir hétérogène ; par contre, les estimations locales sont de qualité insuffisante pour s'identifier à une prévision précise de la ressource.

REFERENCES :

Rapports

85 IMRG 002 ROJAS (J.) - Etude détaillée des réservoirs géothermiques en milieu sédimentaire : réservoir du Dogger, 68 p.

85 SGN 061 GMX SEVEQUE (J.L.), OUSTRIERE (P.), CRIAUD (A.) - Watra 1 : programme de calcul d'équilibre dans les eaux : une version de Watra étendue aux espèces métastables du soufre : polysulfures, géosulfures, sulfites. Données thermodynamiques révisée et complétées, 123 p.

85 SGN 207 GEO-IRG ROBELIN (C.), GIOT (D.) - Apports de la cathodoluminescence à la connaissance de la diagenèse des horizons réservoirs du Dogger au site géothermique d'Aulnay-sous-Bois, 42 p., 3 fig., 6 tabl.

RAPPORT ANNUEL D'ACTIVITE DE L'INSTITUT MIXTE DE RECHERCHES GEOTHERMIQUES, (BRGM/AFME), 1985.

Publications

FOUILLAC (C.), IUNDT (F.), FOUILLAC (A.M.), ROJAS (J.) - Isotopic studies of oxygen, hydrogen, sulphur and carbon in the Dogger aquifer from Paris Basin. Soumis at 5th International Symposium on Water-rock Interaction, Reykjavik, 1986.

FOUILLAC (C.), IUNDT (F.), MARTY (B.), CRIAUD (A.) - Apports de la géochimie à l'exploitation du Dogger de la région parisienne, in : Colloque Bilan et Perspectives de la Recherche Française en Géothermie, Orléans, 1985. Résumés des communications, p. 46-48.

MENJOZ (A.), ROJAS (J.), WATREMEZ (P.) - Etude détaillée de réservoirs géothermiques en milieu sédimentaire : réservoir du Dogger in : Colloque Bilan et Perspectives de la Recherche Française en Géothermie. 1985. Orléans. Résumés des communications, p. 77-79.

BASTIDE (J.P.), 1985 - Etude géochimique de la nappe du Dogger du Bassin parisien, thèse 3ème cycle, Université Paris VII, 152 p.

IUNDT (F.), FOUILLAC (C.), OUZOUNIAN (G.), 1983 - Etude géochimique des fluides du Dogger. Premiers résultats. Rapport BRGM n° 83 SGN 907 IRG.

RS 2092

Activation de puits géothermiques de basse enthalpie par gas-lift recyclé

Activation of low enthalpy wells using a gas-lift loop

J.L. HONEGGER

Le concept d'activation par Gas-Lift, jusqu'ici presque exclusivement réservé à la production de pétrole, peut être étendu, moyennant adaptations au domaine géothermique.

Ce procédé d'activation présente de nombreux avantages dans la mesure où : il est compatible avec des débits de fluide important et des

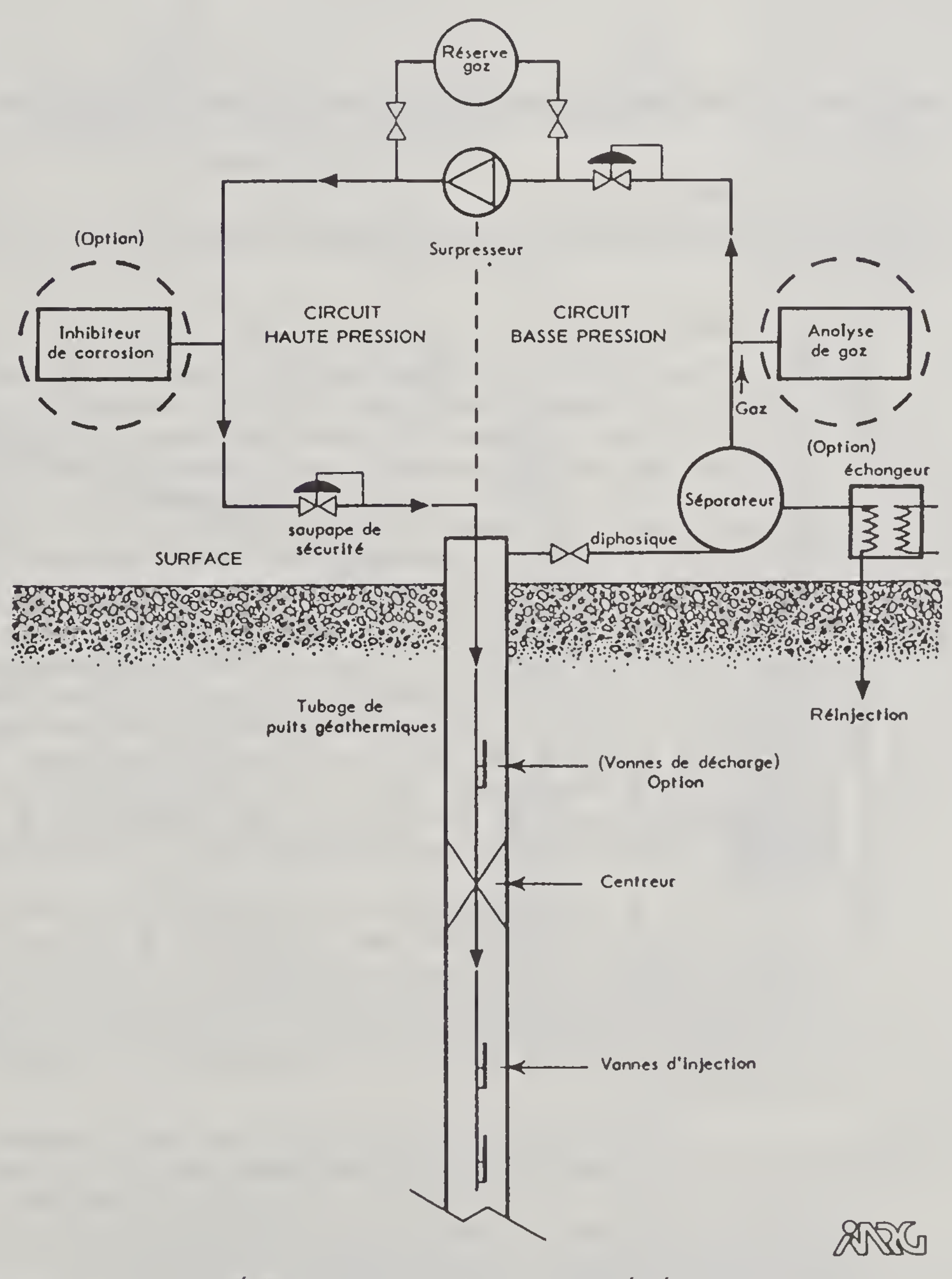


SCHÉMA SYNOPTIQUE DU GAS-LIFT RECYCLÉ GÉOTHERMIQUE

températures élevées, il ne présente que peu de matériel dans le puits (en contact direct avec le fluide géothermal), il est très peu sensible à la présence de particules, et c'est un moyen puissant de contrôle chimique du fluide.

Cependant, le dimensionnement des installations fait appel à des corrélations essentiellement empiriques et les paramètres liés à l'activation des puits géothermiques du Dogger du Bassin Parisien ne correspondent pas aux plages d'utilisation clasiques de ces modèles. Certains de ces paramètres (indice de productivité quasi constant, artésianisme important, ... etc) en font un "gas-lift" tout à fait particulier, qu'il est nécessaire de modéliser et de tester, si possible en grandeur réelle.

Les fluides géothermaux étant , la plupart du temps, assez pauvre en gaz, celui-ci doit être recyclé pour limiter les coûts de fonctionnement. Selon la qualité du fluide géothermal, il conviendra d'équilibrer la contre pression en tête de puits pour permettre ou non un dégazage de ce fluide.

Le nombre et la nature des paramètres servant au dimensionnement d'activation par gas-lift limite la précision des calculs. Cependant, l'analyse des données existantes a permis de préciser les caractéristiques du système le plus adéquat à l'activation de puits géothermiques. La réalisation d'une unité pilote sur un site en exploitation doit permettre de maîtriser le procédé ainsi que son dimensionnement dans différentes conditions.

Cet acquis est nécessaire à l'étude économique et énergétique du système qui ne doit pas se limiter à l'exploitation du Dogger du Bassin Parisien. En effet, l'optimisation de ce procédé ouvre les portes à l'activation de puits géothermiques de moyenne et de haute enthalpie, ainsi que de puits producteurs d'eau.

REFERENCE :

HONEGGER J.L., 1986. Activation de puits géothermiques de basse enthalpie par Gas-Lift Recycle - Dossier technique - Orléans, Rapport BRGM 86 SGN 090 IRG.

2 - Géothermie haute énergie

RS 2093

Structure géologique associée à l'anomalie géothermique de Soultz-sous-Forets (Bas-Rhin)

Geological structure linked to Soultz-sous-Forets geothermal anomaly (Bas Rhin Dept., France)

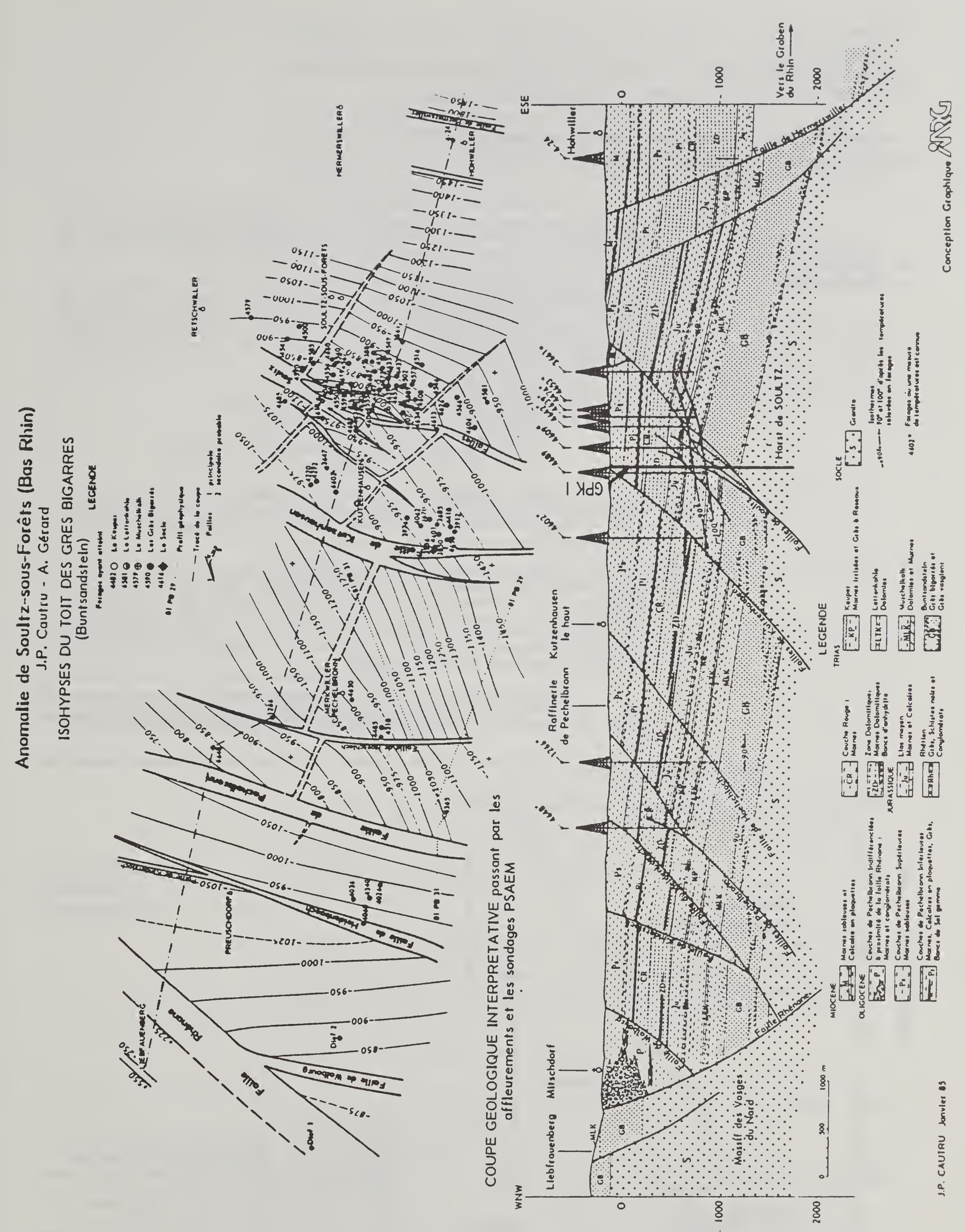
J.P. CAUTRU
A. GERARD

A la suite de l'étude d'ensemble de l'anomalie géothermique de Soultz-Sous-Forêts (A. GERARD et al., 1984), nous avons repris les logs de quelque 112 forages pétroliers dont 45 sont concentrés sur 10 km² à l'ouest de Soultz. Nous proposons une carte des isohypses du toit des Grès Bigarrés et 12 coupes géologiques centrées sur l'anomalie thermique que HAAS et HOFFMANN avaient mise en évidence en 1929. La plupart de ces sondages ne dépassent pas le Muschelkalk et, pour extrapoler jusqu'au socle, nous avons adopté des hypothèses simples de conservation des épaisseurs des Grès Bigarrés et d'absence de structuration anté-Oligocène.

Il apparait ainsi, qu'entre le massif des Vosges à l'ouest et le graben principal du Rhin à l'est, un fossé secondaire s'individualise, limité par des failles normales conformes : faille Rhénane et faille de Hermerswiller. Par le jeu compensateur de toute une série de failles normales contraires (failles de Péchelbronn, de Kutzenhausen, de Soultz,...) le toit du socle se maintient entre les cotes -1300 et -1600 m.NGF presque régulièrement jusqu'au droit du village de Soultz, à l'est duquel le pendage et les failles normales conformes le font s'ennoyer rapidement vers le centre du fossé.

A l'aide des mesures de températures relevées en forages, nous avons construit une carte des isothermes à la cote -1000 m. Sur la coupe jointe, l'isotherme 90°C se situe vers -1150 m.NGF aux forages 4648 et 1266 et remonte jusqu'à -550 m.NGF au forage 3361. En plan comme en coupe, l'anomalie géothermique apparaît très liée aux failles de Kutzenhausen et surtout de Soultz ainsi que le montre les isothermes 90 et 100°C localement parallèles aux accidents.

Ces nouvelles réflexions sur des données géologiques anciennes permettent d'établir des modèles thermiques et des modèles de circulation des fluides (travaux de A. MENJOZ, en cours) et d'implanter le forage expérimental GPK 1 du programme "Stimulation-fracturation de massifs chauds sous couverture sédimentaire" actuellement développé par l'IMRG, en appui au programme Géothermie Profonde Généralisée de l'AFME. Ces recherches dans le cadre d'un



projet franco-allemand bénéficient d'une importante participation financière de la CCE.

REFERENCE :

GERARD A., MENJOZ A., SCHWOERER P., 1984. "L'anomalie thermique de Soultz-sous-Forêts Géothermie Actualités, n°3, 35-42.

RS 2094

Les éruptions ponceuses récentes de la Montagne Pelée (Martinique). Rôle de l'eau dans les dynamismes éruptifs ponceux

The recent pumiceous eruptions of Mont Pelée volcano (Martinique). Role of meteoric water during eruptive processes

H. TRAINEAU
D. WESTERCAMP

Au cours de l'activité récente de la montagne Pelée, des éruptions ponceuses coexistent avec les éruptions de types nuées ardentes. Entre 0 et 5000 ans BP une certaine diversité entre éruptions ponceuses apparaît et plusieurs types de séquences éruptives peuvent être distingués.

Les travaux de téphro-stratigraphie et de cartographie des formations pyroclastiques réalisés depuis quelques années ont permis de quantifier les différents types de dépôts (retombées, déferlantes, écoulements). Les données acquises ont permis également de modéliser les trois dernières explosions pliniennes P1, P2 et P3. Les valeurs obtenues des différents paramètres sont à titre indicatif :

- rayon du conduit éruptif : 56-65 m
- taux d'éjection du magma : 1,9 à $3,4.10^7$ kg/s
- durée de l'explosion : 3 à 1,6 heures
- hauteur de la colonne : 16,6 à 19,2 km
- vitesse d'éjection des pyroclastes : 180 à 330 m/s
- quantité de gaz (H_2O) présents : 1 à 2,5 %

Dans le diagramme de WILSON et al. (1980), le point représentatif des explosions pliniennes de la montagne Pelée est proche de la transition entre le domaine des colonnes pliniennes et celui des débordements de ponces, conformément à leur caractère sub-plinien (fig.).

L'étude des xénolites récoltés dans les dépôts pliniens, permet de mieux cerner la lithologie et l'hydrogéologie profonde de l'édifice volcanique. Ils représentent un échantillonnage complet des formations de l'édifice depuis le sommet jusqu'à la base, située vers 1.5 km de profondeur. La plupart ont subi une altération hydrothermale de basse température et possèdent l'auréole d'oxydation externe qui témoigne de l'existence d'aquifères réducteurs au sein du volcan.

De plus, certains ont subi un métamorphisme de contact partiel, avec développement d'une association hyperstène-cordiérite-phlogopite qui indique une température maximale atteinte de 700° environ. Ce métamorphisme de

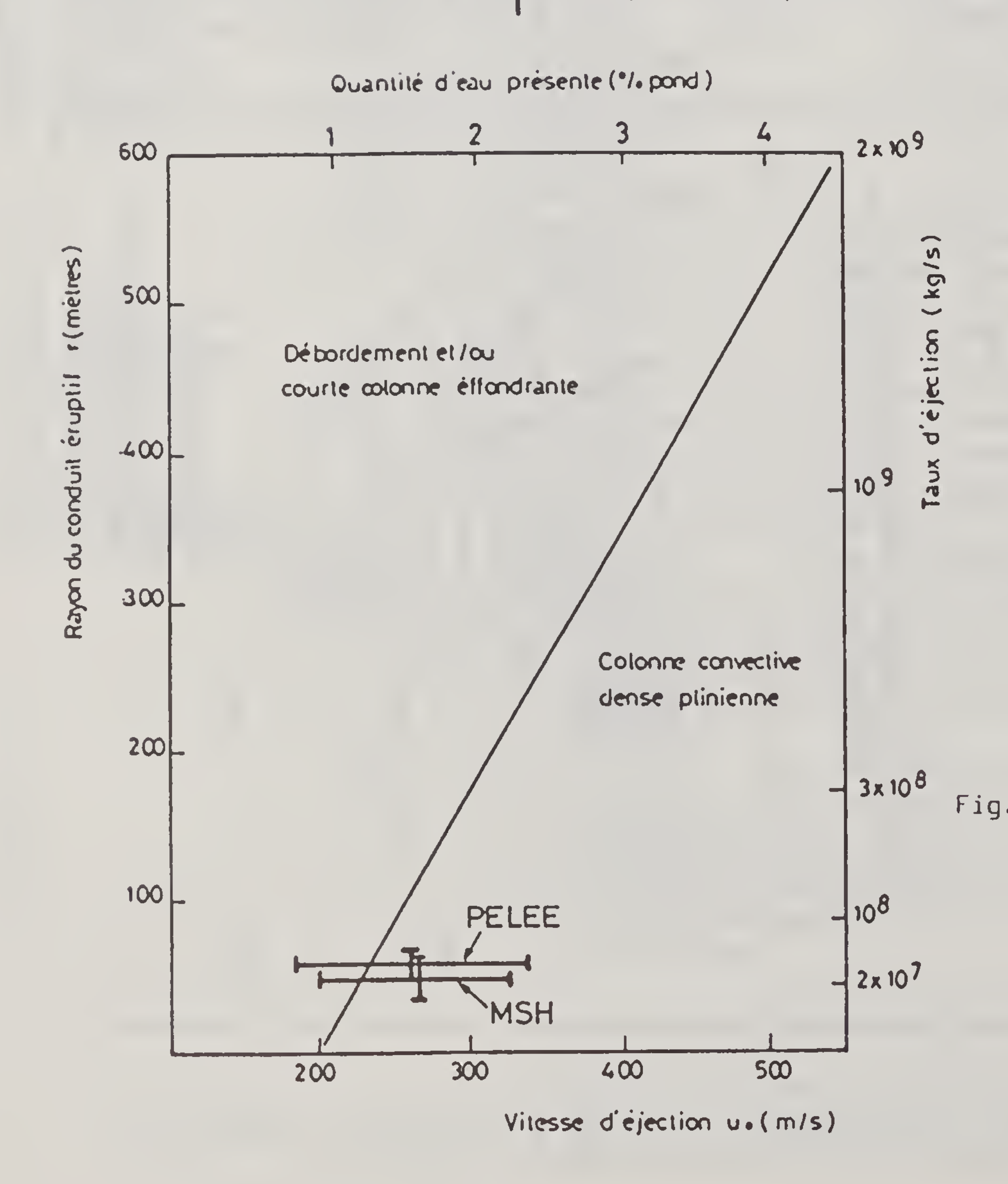


Fig. - Diagramme montrant les domaines respectifs où sont réunies les conditions propices soit au développement d'une colonne convective (plinienne) dense, soit à l'effondrement d'une colonne éruptive pour donner naissance aux coulées de ponces ; tiré de WILSON et al., (1980)
Le point représentatif des explosions pliniennes de la montagne Pelée est proche de la transition entre les deux domaines. MSH : point représentatif de la phase plinienne de l'éruption du 18 mai 1980 au matin du Mt St Helens, d'après CAREY et SIGURDSSON (1985)

contact est attribué à un séjour de la colonne magmatique vers la base de l'édifice, au niveau de formations aquifères profondes qui auraient ainsi été surchauffées. Ceci peut jouer un rôle important dans l'origine des explosions pliniennes à la montagne Pelée.

Lors du déclenchement de l'éruption, la baisse de pression dans la colonne magmatique occasionnée par le dégazage et la vésiculation du magma, va se transmettre également dans ces aquifères surchauffés. Leur détente par vaporisation va fournir une quantité d'énergie très importante. Additionnée à l'exsolution des gaz magmatiques, elle va contribuer activement au développement et au maintien de la colonne plinienne pendant les quelques heures que dure habituellement ce type de phénomène.

Ceci apporte un nouvel éclairage sur la diversité des dynamismes ponceux de la montagne Pelée. Une remontée lente du magma permet un réchauffement important des aquifères profonds et favoriserait la présence d'une phase plinienne au début des éruptions ponceuses tandis qu'une remontée rapide sans réchauffement des aquifères, donnerait lieu directement à l'émission de coulées de ponces par débordement du cratère.

Ce modèle s'applique au cas d'un strato-volcan andésitique d'arc insulaire comme la montagne Pelée. Les éruptions, de faible volume (moins du km^3) et de faible intensité, se classent à la limite des types plinien et sub-plinien. La présence de structures caldériques centrales emboîtées y favorisent l'infiltration d'eaux météoritiques au coeur du volcan. C'est précisément en raison de ces particularités que cette dernière peut jouer un rôle significatif dans l'origine des dynamismes éruptifs.

REFERENCE :

TRAINEAU H. et WESTERCAMP D., 1985 - Les éruptions ponceuses récentes de la montagne Pelée (Martinique). Decription des dépôts, dynamismes éruptifs. Rapport BRGM 85 SGN 471 IRG, 68 p.

LAFFORGUE T., TRAINEAU H., WESTERCAMP D., 1985 - Apport de l'étude des xénolites dans l'évaluation du potentiel géothermique et l'origine des dynamismes éruptifs. Rapport BRGM 85 SGN 627 IRG.

RS 2095

Schéma hydrogéologique et géothermique d'un strato-volcan d'arc insulaire : exemple de la Montagne Pelée (Martinique)

Hydrogeology and geothermal strucutre of an island-arc volcano: Mont Pelée (Martinique)

D. WESTERCAMP
H. TRAINEAU
Y. BENDERITTER

Peu de champs géothermiques haute température, exploités dans le Monde apparaissent directement liés à des strato-volcans récents ou actifs. Est-ce parce que ce type de structure est intrinsèquement peu favorable à la création de réservoirs économiquement intéressants, ou bien est-ce parce que la ressource est difficile à mettre en évidence dans l'état actuel des connaissances, modèles de référence et moyens de prospection ?
Les informations recueillies en Martinique permettent d'aborder la question pour le cas précis de la montagne Pelée.

Ainsi, on propose que les aquifères, susceptibles de constituer des réservoirs géothermiques de haute température soient alimentés par les eaux de pluies infiltrées dans la partie sommitale du volcan, réchauffées vers 3-6 km de profondeur au-dessus de la chambre magmatique du volcan, puis remontant en éventail le long des fractures et failles majeures régionales. Ce modèle hypothétique (fig.) intègre des données et caractéristiques relatives à la montagne Pelée d'origines très variées, en particulier :

- Un système de caldéras sommitales emboîtées qui constitue une zone de recharge privilégiée.

- Un bilan hydrogéologique extrêmement déficitaire qui suggère une infiltration de 30 à 50 % du total des pluies reçues par l'édifice (plus de 7 mètres au sommet).

- L'absence d'aquifères de haute température dans toute la partie axiale du volcan, comme l'atteste la faible altération générale des xénolites du substratum.

- La localisation, la nature principalement bicarbonatée sodique, et les données géothermométriques (200°C) des rares sources thermominérales ; l'occurrence des explosions phréatiques historiques isolées (1792, 1851).

- Les nombreuses données géophysiques disponibles notamment en gravimétrie, audio-magnétotellurique et magnétotellurique lente qui marquent des accidents tectoniques de signification régionale (NW-SE et NE-SW) plus ou moins scellés par des minéralisations hydrothermales.

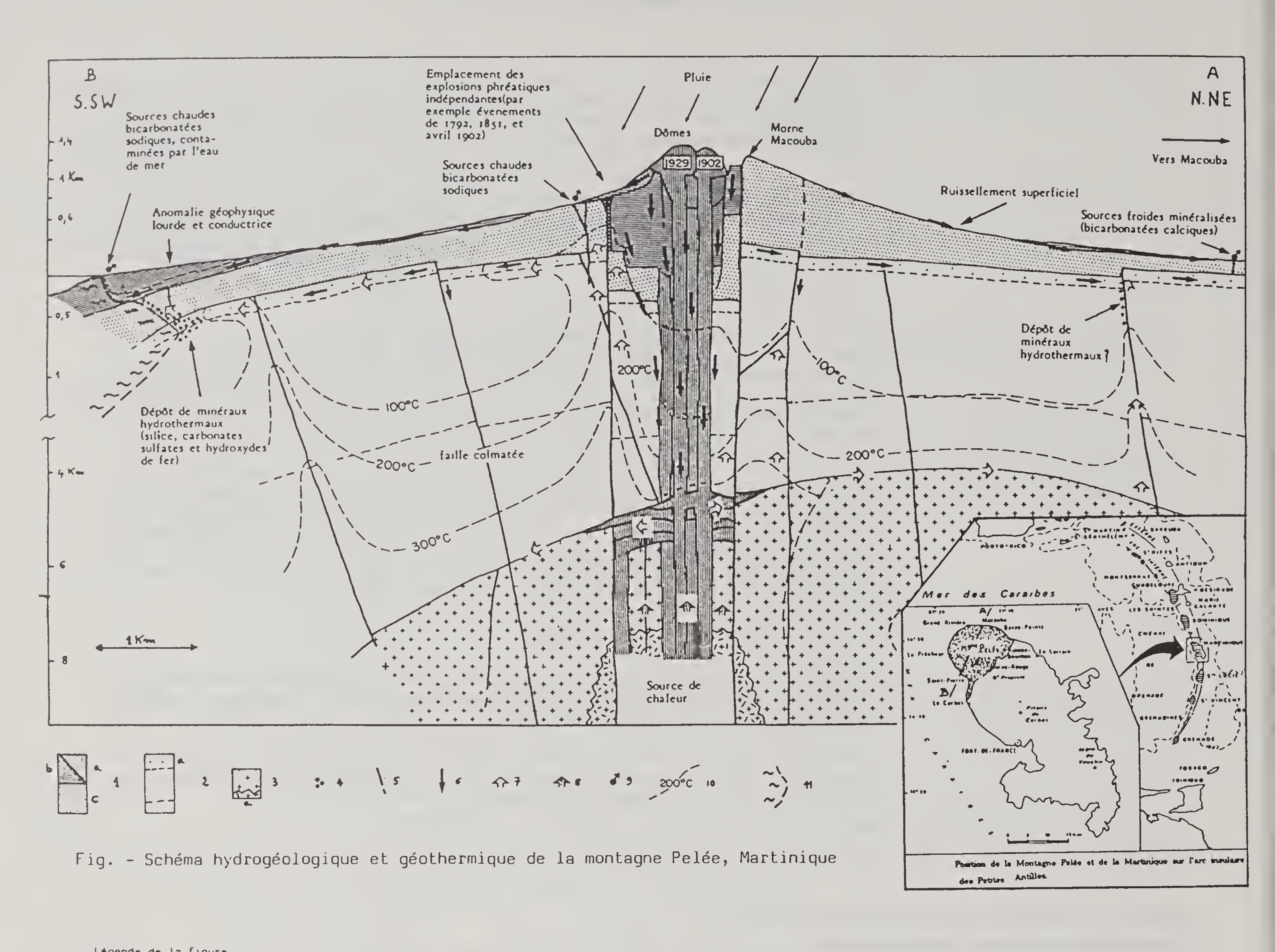


Fig. - Schéma hydrogéologique et géothermique de la montagne Pelée, Martinique

Légende de la figure

1 Formations géologiques de la montagne Pelée :
a) édifice récent : } essentiellement dépôts de nuées
b) édifice intermédiaire : } ardentes et coulées de ponces
c) édifice ancien : coulées de lave massive et autoclastique

2 Substratum de la montagne Pelée : formations volcaniques aériennes perméables (a) (brèches volcaniques et coulées massives fracturées du Piton Conil et/ou du morne Jacob) et sous-marines imperméables (complexes hyaloclastiques mio-pliocènes)

3 Socle volcanique profond : a souligne les phénomènes de métamorphisme de contact autour de la chambre magmatique

4 Minéralisations hydrothermales

5 Faille

6 Infiltration d'eau froide météorique

7 Circulation des eaux thermales (réchauffement d'eau météorique froide (6) par des gaz volcaniques (8))

8 Gaz volcaniques

9 Source thermominérale chaude ou froide

10 Isotherme hautement spéculatif

11 Biseau d'eau salée (mer Caraîbe)

REFERENCE :

BENDERITTER Y., 1985 - Structure superficielle à signature géothermique mise en évidence par prospection géophysique à proximité de la montagne Pelée, Martinique. Colloque "Bilan et perspectives de la recherche Française en Géothermie, Orléans, juin 1985".

WESTERCAMP D. et TRAINEAU H., 1985 - Schéma hydrogéologique et géothermique d'un strato-volcan andésitique d'arc insulaire : exemple de la montagne Pelée, Martinique. Même référence.

RS 2096

Le champ géothermique fossile du François-Robert (Martinique). Microthermométrie des inclusions fluides et modèle du système hydrothermal

The François-Robert fossil geothermal field (Martinique). Microthermometry studies of fluid inclusions and hydrothermal model

M. ZORPI*
O. LEGENDRE
D. WESTERCAMP
C. COULON*

Le champ géothermique du secteur François-Robert, d'âge miocène, se situe dans la chaîne volcanique sous-marine de Vauclin-Pitault. L'érosion permet l'observation directe du réservoir géothermique. Le cycle hydrothermal s'étend sur une seule période d'activité, au Miocène supérieur (entre 11,5 et 10,5 Ma) au cours de laquelle se déposent successivement quartz, zéolites puis calcite.

L'étude microthermométrique des inclusions fluides contenues dans les cristaux de quartz et de calcite d'origine hydrothermale, a permis de définir certaines caractéristiques des fluides hydrothermaux ayant circulé dans les roches-réservoirs :

- Les fluides hydrothermaux, piégés sont peu minéralisés. La salinité moyenne du secteur n'excède pas 0.9 % équivalents-poids NaCl avec une légère augmentation de la salinité du centre vers la périphérie.

- Les histogrammes de températures d'homogénéisation permettent de différencier des minéraux dont la température de piégeage est relativement élevée ; il s'agit de quartz (230-300°C) et de calcites (110-180°C) situés au centre du secteur. Les autres cristaux de quartz ou de calcite étudiés, situés en position périphérique, ne présentent pratiquement pas d'inclusions de haute température.

Si on examine les rosaces d'orientation des fractures minéralisées, on constate qu'une famille de fractures de direction NW-SE a été minéralisée par le quartz, les zéolites et la calcite tandis qu'une autre de direction E.NE-W.SW très importante l'a été exclusivement en quartz.

Pour rendre compte de ces différentes caractéristiques hydrothermales et structurales combinées, notamment de la présence dans la partie centrale du champ fossile de quartz et de calcite de haute température, on peut à titre d'hypothèse esquisser un modèle où viendraient interférer des phénomènes de convection et de conduction.

- La cristallisation plutôt précoce de quartz et de calcite de haute température serait liée à des circulations de fluides le long d'accidents tectoniques majeures, de direction régionale NE-SW à E.NE-W.WS sollicités lors de la mise en place de la grande intrusion - source de chaleur à l'aplomb du morne Pitault.

- Le scellement des fractures une fois l'intrusion-source de chaleur stabilisée, aurait ensuite conduit à une propagation de la chaleur plus par conduction (et convection lente à travers un réseau de micro-fractures mal ou non connectées ?). On lui devrait plutôt les dépôts de la chronologie hydrothermale "normale" : quartz, zéolites, calcites.

- La nature peu salée du fluide, qui circule pourtant dans un contexte géologique immergé et en outre constitué de formations volcaniques d'origine sous-marine, impose que la zone de recharge soit à l'air libre. La présence des proto-îles martiniquaises, illustrées par les actuelles presqu'îles de St Anne et de la Caravelle, permet de répondre à cette exigence.

REFERENCE :

ZORPI M. et LEGENDRE O., 1985 - Contribution à l'étude du champ géothermique fossile du François-Robert (chaîne volcanique sous-marine de Vauclin-Pitault, Martinique). Etude microthermométrique des inclusions fluides des phases minérales hydrothermales. Rapport BRGM 85 MTQ 086 IRG, 84 p.

WESTERCAMP D., 1981 - Distribution and volcano-structural control of zeolites and other amygdale minerals in the Island of Martinique. J. of Volc. and Geoth. Res., II, p. 353-365.

* Laboratoire de Pétrographie, Univ. Marseille St Jérome

RS 2097

Prospection combinée magnétotellurique-sismique sur l'île de la Guadeloupe

Combined magnetotelluric and seismic exploration in Guadeloupe island (French West indies)

H. FABRIOL
A. BEAUCE

L'Institut Mixte de Recherches Géothermiques (I.M.R.G.), en collaboration avec le Centre de Recherches Géophysiques de Garchy (C.N.R.S.) a réalisé une campagne de prospection magnétotellurique et d'écoute sismique dans l'île de la Guadeloupe, pour le compte du département géothermie du B.R.G.M. Cette campagne d'enregistrements s'est déroulée du 5 novembre au 14 décembre 1984.

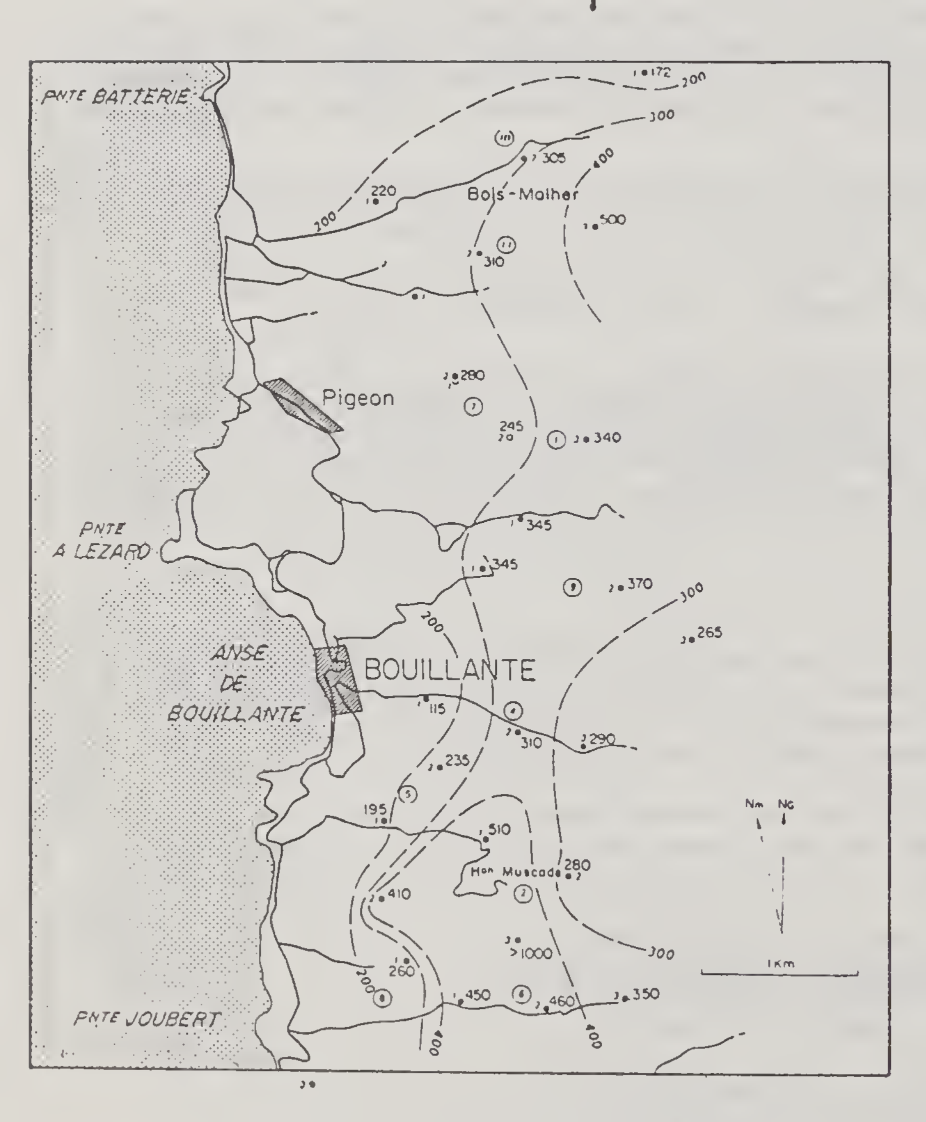
Bénéficiant du même appareillage de base pour l'utilisation de ces 2 méthodes (système informatique et matériel analogique identiques à l'exception des capteurs) il a été possible, au cours de la période du 4/11 au 30/11 d'alterner les mesures magnétotelluriques et les mesures sismiques.

Le but de l'opération a été d'une part de rechercher une extension possible de la zone géothermique de Bouillante et d'autre part de prospecter la zone de la plaine de Moscou et les régions environnantes (Soufrière-Grand Etang).

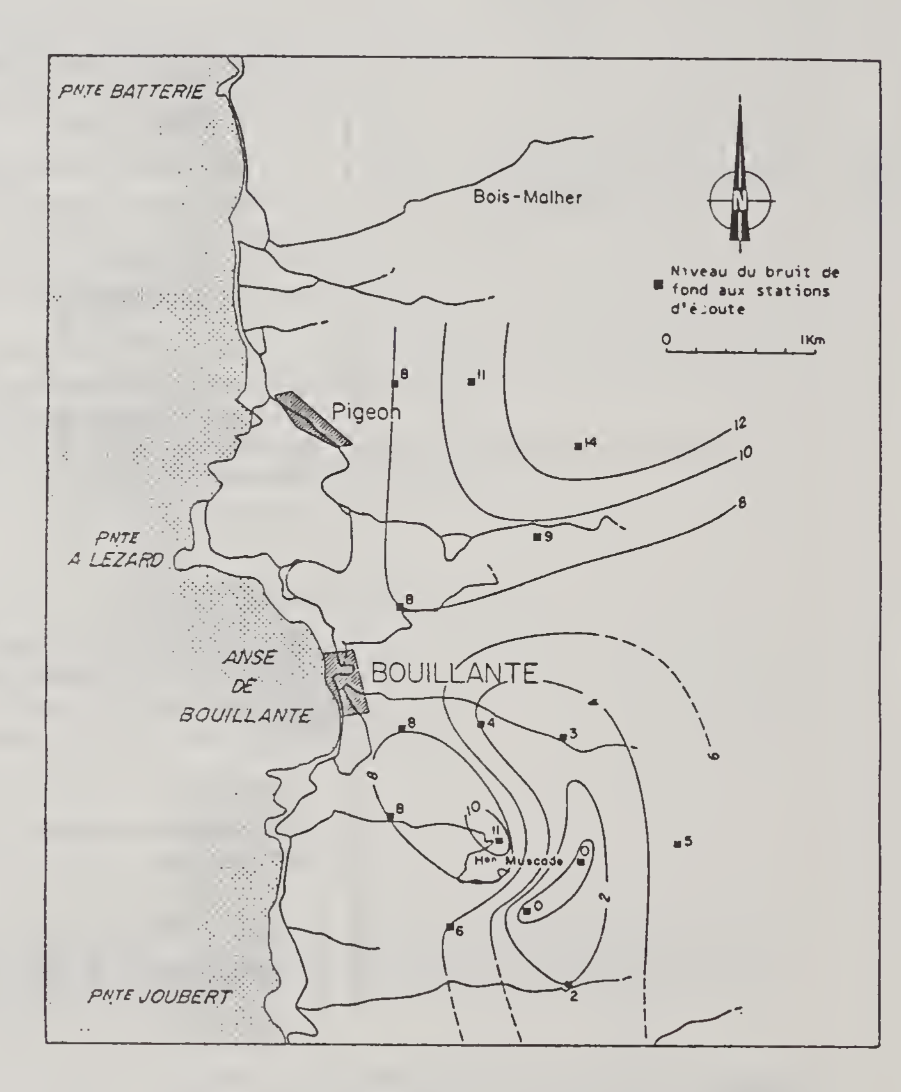
Les mesures magnétotelluriques sur le premier site ont bénéficié d'une qualité de données correcte et d'une densité de stations élevée. Une zone de haute conductance est délimitée autour de l'Habitation Muscade, elle correspond par ailleurs à une remontée du conducteur profond. Au Nord de l'agglomération de Bouillante, il n'y a pas de zone anormale équivalente, si ce n'est un axe NW-SE de remontée du toit du conducteur profond entre Bois Malher et l'Hôpital. Les données magnétotelluriques de la zone de Moscou sont de moins bonne qualité.

En sismique, sur la zone de Bouillante, des résultats forts prometteurs ont été obtenus, tant sur le plan de l'analyse du bruit de fond (zone de bruit anormale dans la gamme 5-10 Hz sur Habitation Muscade), que sur celui de la sismicité locale (11 évènements d'origine tectonique, situés à environ 2 km au NW de Bouillante, auxquels se trouve associée une crise d'une centaine de microséismes survenus en 72 heures).

Les informations recueillies sur le site de Bouillante ont permis de révéler une zone sismique particulièrement active, située au large et à 2 km environ au NW de l'agglomération de Bouillante. Cette zone pourrait matérialiser le prolongement d'un accident tectonique actif, de direction N.NW-S.SE et situé plus au Nord de Pigeon, vers le système du volcan de la Soufrière. La conséquence de cette hypothèse serait la présence d'une fracturation active importante dans la région S.SE de Bouillante (fig.), corrélée avec les anomalies repérées par la magnétotellurique.



Carte des conductances superficielles (Mhos)



Carte des isovaleurs relatives du niveau du bruit de fond sismique dans la gamme 5-10 Hz

RS 2098

Les éruptions hydromagmatiques en domaine basaltique et les xénolites lithiques qui leur sont associés. Signification géothermique. Exemples de Flores (Açores)

Hydromagmatic eruptions in a basaltic context and their lithic xenoliths. Geothermic significance. Flores, Azores

M. MORISSEAU

Deux éruptions hydromagmatiques en domaine basaltique ont été étudiées à Flores (Açores). Ces éruptions, datées à 2900 ans BP (ensemble des Caldeiras Funda nord, Comprida et Seca) et 3150 ans BP (Caldeiras Funda de Lajes et Rasa) ont eu lieu sur un plateau central ou en bordure de celui-ci, plateau qui a pour origine le remplissage d'une ancienne structure caldérique par des coulées de basalte et par les cônes stromboliens qui leur sont associés.

Pour chacun des deux centres éruptifs, l'activité volcanique s'est manifestée et a évolué suivant le même processus. Elle débute par une phase strombolienne puis passe brutalement à une activité explosive violente d'origine hydromagmatique.

Dans les deux cas, le magma juvénile est peu ou pas différencié (basalte alcalin à olivine pour la Caldeira Comprida, basalte alcalin hawaïtique pour la Caldeira Funda de Lajes). La phase strombolienne est marquée par l'édification de cônes de scories non soudées, d'une hauteur de 30 à 40 m, qui seront en partie détruits par les explosions hydromagmatiques.

La phase hydromagmatique succède immédiatement à la phase strombolienne et met en place des brèches d'explosions constituées essentiellement d'éléments lithiques. Leur mise en place se fait par une activité rythmique violente à dynamisme déferlant et par les retombées de nuages humides. Cette activité est à l'origine des maars appelés "Caldeira". Elle résulte du mélange intime eau-magma par baisse de pression dans la colonne éruptive et arrivée d'eau d'aquifères, superficiels puis de plus en plus profonds.

Dans l'un des sites (Caldeiras Funda nord, Comprida et Seca) les éléments lithiques des brèches d'explosions ne montrent pas d'altérations hydrothermales susceptibles de refléter l'existence d'un système géothermique. Seules quelques xénolites en partie oxydés en surface attestent de la présence d'aquifères réducteurs situés à faible profondeur (moins de 150 m) et mis en cause lors des explosions.

Dans l'autre site (Caldeira Funda de Lajes) la brèche d'explosion, d'une épaisseur maximale de 27 m, porte un niveau de 0,10 m d'épaisseur riche en xénolites lithiques à paragenèse hydrothermale de haute température. Ces xénolites "hydrothermalisés" constituent environ 15 % des éléments lithiques du niveau. Leur paragenèse hydrothermale est à albite, épidote, biotite verte, sphène, actinote, plus ou moins chlorite - biotite brune - amphibole brune ; certains xénolites sont à texture bréchique. Il y a absence quasi totale de zonéographie de l'altération hydrothermale et absence de rétromorphose de plus basse température. L'étude isotopique de l'oxygène faite sur le couple albite-épidote donne une température de formation de 380° à 450°C. L'étude isotopique de l'hydrogène faite sur l'épidote montre que l'eau des fluides hydrothermaux est uniquement d'origine météoritique.

Ces xénolites représenteraient en profondeur un drain géothermique étroit, de haute température, lié à une zone de fracture en bordure caldérique. L'absence d'auréole d'oxydation de ces xénolites et l'absence de modification notable du dynamisme éruptif lors du "prélèvement" montrent que ce drain était fossile.

REFERENCE :

MORISSEAU M. et TRAINEAU H., 1985 - Mise en évidence d'une activité hydromagmatique holocène sur l'île de Flores (Açores).
C.R. Acad. Sc. Paris, t. 301, série II, n° 18, p. 1309 à 1314.

3 - Stockage chaleur. Pompes à chaleur

RS 2099

Carte d'orientation à l'exploitation de la nappe de la craie pour les pompes à chaleur. Région Nord-Pas-de-Calais. Echelle 1/250 000 (1985). Service régional pour la maîtrise de l'énergie. Agence française pour la maîtrise de l'énergie

1: 250,000 scale orientation map for the exploitation of groundwater in the chalk for heat pumps, Nord-Pas-de-Calais region, 1985. Service régional pour la maîtrise de l'énergie. Agence française pour la maîtrise de l'énergie

J. BECKELYNCK
S. BAILLY
avec la collaboration de
P. CAULIER
B. MONNIER

Les problèmes liés à l'approvisionnement et au coût des combustibles ont conduit à rechercher et développer de nouvelles formes d'énergie pour satisfaire les besoins en chauffage. Dans ce contexte, les pompes à chaleur occupent désormais une place importante due tant aux avantages techniques et financiers qu'à l'appui que représentent les incitations aux économies d'énergie.

Plus particulièrement, on assiste à un intérêt grandissant porté aux pompes à chaleur sur eau de nappe dont les performances (aussi bien pour le chauffage que le refroidissement) sont très attractives comparativement aux pompes à chaleur sur air. De fait, la relative constance de la température des eaux souterraines dans le temps est un atout primordial qui permet d'assurer un rendement régulier des pompes à chaleur.

Compte tenu de ses réels besoins, notamment en chauffage, il n'est pas surprenant que la Région Nord - Pas-de-Calais soit le lieu de sollicitations importantes dans ce domaine. Toutefois, si de nombreux secteurs de la région sont favorables à l'implantation d'un projet de P.A.C. sur nappe, leur répartition est hétérogène et dépendante de critères hydrogéologiques précis. En effet, la faisabilité d'un projet est avant tout conditionnée par l'existence et l'accessibilité de la ressource en eau qu'il convient de vérifier préalablement aux études de conception détaillée et aux travaux correspondants.

Comment y parvenir ? Dans un bon nombre de cas, un examen, même succinct, du contexte hydrogéologique d'un avant-projet peut être suffisant pour abandonner ou au contraire poursuivre une étude de P.A.C. sur nappe... encore faut-il disposer des données et des moyens d'information suffisants.

Afin de satisfaire ce besoin d'information, la Région Nord - Pas-de-Calais et l'Agence Française pour la Maîtrise de l'Energie ont décidé la réalisation d'une carte d'orientation à l'exploitation de la nappe de la craie pour les pompes à chaleur. Cette nappe a été choisie compte tenu du principal potentiel de ressource qu'elle représente à l'échelle régionale, et, par conséquent, de la convergence des intérêts qui s'y portent dans tous les domaines.

Les techniques mises en oeuvre dans l'élaboration de ce document font appel aux moyens les plus modernes de dessin assisté par ordinateur. Présentée sous forme d'un document cartographique 59 x 83 cm, accompagnée d'une notice explicative, son accès facile permet d'appréhender rapidement le contexte hydrogéologique régional de la nappe de la craie.

REFERENCE :

J. BECKELYNCK - S. BAILLY avec la collaboration de P. CAULIER - B. MONNIER - Service Régional pour la Maîtrise de l'Energie - Agence Française pour la Maîtrise de l'Energie - Carte d'orientation à l'exploitation de la nappe de la craie pour les pompes à chaleur. Région Nord - Pas-de-Calais - Echelle 1/250 000 - 1985 - Rapport B.R.G.M. 85 SGN 417 NPC

RS 2100

Etude du mécanisme de précipitation des dépôts dans une installation de pompe à chaleur

Study of mechanisms of deposition in a heat pump power plant

L'utilisation de plus en plus fréquente de pompe à chaleur sur nappe avec forages de production et de réinjection a mis en évidence certains phénomènes venant perturber la bonne marche des installations. Parmi ceux-ci, la

R. FABRIOL
P. OUSTRIERE
G. OUZOUNIAN

corrosion et les dépôts colmatants rendent les forages et les pompes d'exhaures inutilisables et réduisent l'efficacité des échangeurs.

L'étude réalisée par le BRGM dans le cadre d'une Convention EDF-AFME pour la mise en place d'une méthodologie de conception et de réalisation de forages et d'exploitation des pompes à chaleur, a été centrée sur le cas de l'installation de la Résidence La Ribeaupierre de la Porte du Miroir à Mulhouse.

Cette installation comprend deux forages à 23 m de profondeur tubés en acier au carbone. Celui de rejet s'est colmaté en trois mois de fonctionnement.

Les premières analyses ont porté sur les dépôts et ont montré qu'ils étaient constitués pour l'essentiel d'hydroxyde de fer amorphe. Afin d'étudier le mécanisme de précipitation, des prélèvements d'eau ont été réalisés pendant trois types d'essais :

- un profil chimique du forage en cours de production (figure 1)
- un suivi chimique de l'eau pendant 5 heures d'arrêt.
- un suivi chimique de l'eau pendant la remise en route jusqu'à équilibre.

Les résultats obtenus ont permis de définir le mécanisme de précipitation de l'hydroxyde de fer.

Le fer est présent dans l'eau de la formation à une teneur de l'ordre de 0,3ppm, en équilibre avec l'hydroxyde de fer du réservoir.

La précipitation est provoquée par l'augmentation de la teneur en fer provenant de l'acier de l'installation. Pour ce faire, il y a simultanément réduction des nitrates en solution et oxydation du fer de l'acier. Les bilans chimiques, et en particulier le dosage du NH_4^+ produit, ont permis de décrire le mécanisme.

Le suivi en fonction du temps, de la chimie de l'eau dans le forage de production lors de l'essai d'arrêt de la pompe d'exhaure, montre que la réaction d'oxydoréduction est totale en deux heures. Compte tenu de cette vitesse élevée, et à la suite d'essais en laboratoire, il semble probable que la réaction soit catalysée par des bactéries.

Les teneurs élevées en nitrates rencontrées actuellement dans les nappes superficielles permettent de penser que le mécanisme mis en évidence pourrait bien être une des causes de l'endommagement de nombreuses installations de pompage.

REFERENCE :

FABRIOL R., OUSTRIERE P. - Etude du mécanisme de précipitation des dépôts dans une installation de pompe à chaleur.
Cas de l'installation de la Résidence La Ribeaupierre, Porte du Miroir, Mulhouse. Note BRGM/DAM/GMX 1165.

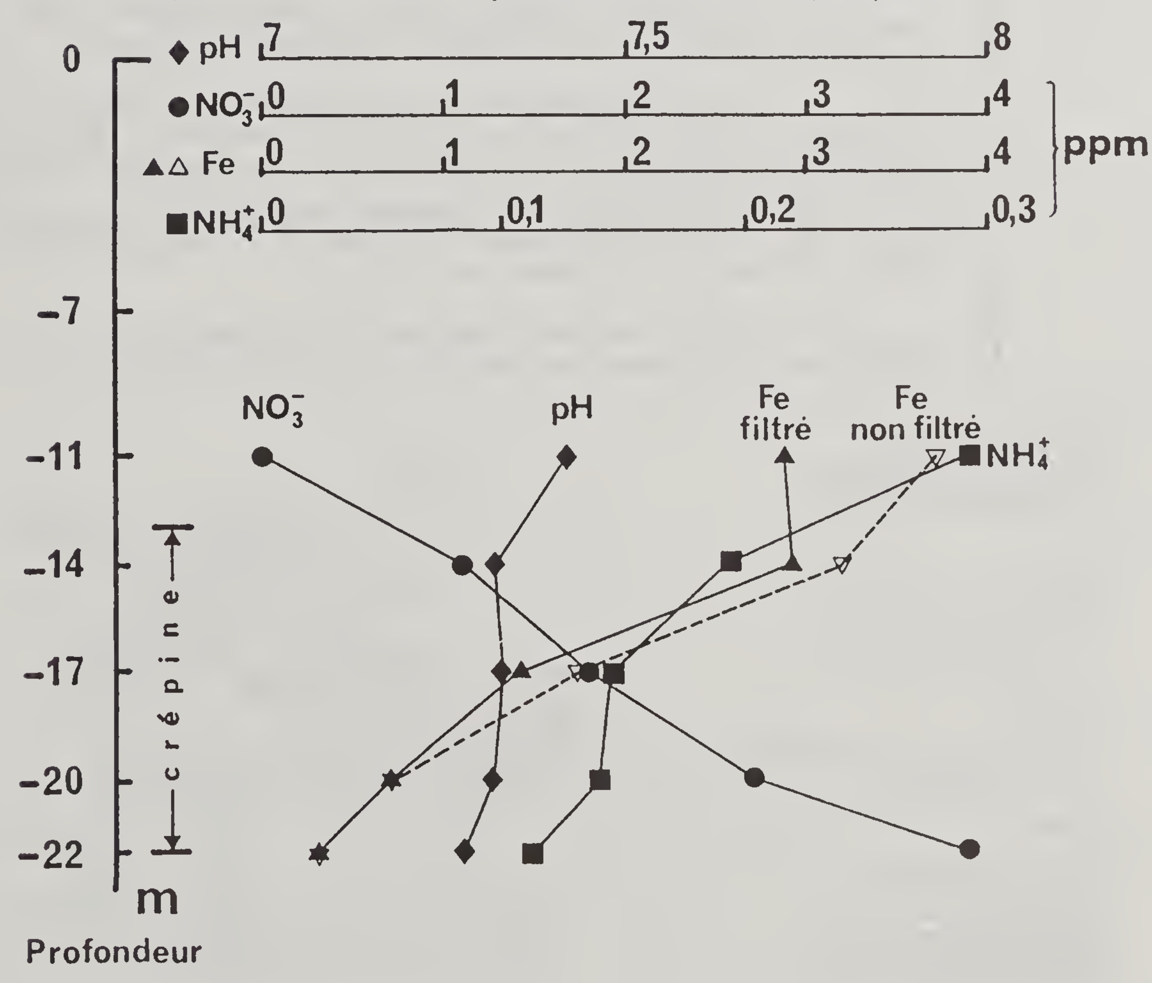


Figure 1 - Profil chimique dans le forage enproduction d'après les analyses in situ.

RS 2101

Le projet de stockage thermique en aquifère de Sarcelles (France) : étude technico-économique

Aquifer thermal energy storage project in Sarcelles (France): technical and economic study

A. BOISDET
A. MENJOZ

Le stockage thermique, envisagé pour satisfaire les besoins de chauffage des locaux est une des techniques envisageables pour parvenir à une meilleure utilisation et à une gestion plus rationnelle de l'énergie. L'accumulation, quelle que soit sa forme, est une condition nécessaire pour s'affranchir du déphasage entre l'offre (rejets thermiques, énergies gratuites) et la demande énergétique. Bien que le concept soit déjà ancien, la mise en oeuvre pratique sous la forme de projets de grande taille nécessite de franchir l'étape préalable de la démonstration et de la certification du procédé pour quelques cas réels précis.

Le projet de stockage intersaisonnier de Sarcelles est un projet pilote conçu par l'IMRG dans le cadre de son programme de recherches, avec pour objectif de proposer dans un délai très rapproché, la réalisation d'une opération en vraie grandeur. Son élaboration a consisté à rechercher sur un même site, un producteur excédentaire de forte puissance, une cible géologique aquifère, et un consommateur à bas niveau thermique.

Le projet s'insère dans le grand ensemble de Sarcelles-Lochères (Val d'Oise), soit 15 000 logements, à l'intérieur duquel un sous-ensemble de 920 logements chauffés en majorité par planchers chauffants a pu être sélectionné. Le système repose sur la technique du doublet, avec un puits chaud (90°C) et un puits froid (40°C) distants de 350 m, et captant l'aquifère du Néocomien à 900 m de profondeur.

L'usine d'incinération d'ordures ménagères, raccordée au réseau primaire existant dispose d'un excédent de chaleur durant l'été (23 000 MWh dissipés en aéroréfrigérant) ; c'est cet excédent, mis en réserve au voisinage du puits chaud, qui sera ensuite restitué l'hiver sur le réseau secondaire de distribution pour couvrir 75 à 80 % des besoins énergétiques de chauffage.

La maîtrise d'ouvrage, conçue sous la forme d'un GIE (BRGM-GEOCHALEUR) aura pour tache de réaliser l'opération, puis d'en évaluer l'efficacité durant une période de cinq ans. A l'issue de cette période, l'ouvrage sera cédé à une société d'exploitation commerciale. Le montage financier qui couvre les investissements proprement industriels ainsi qu'un surcoût lié à l'innovation et aux investigations scientifiques repose sur des concours variés : CEE, AFME, industriels, organismes de crédit.

Les thèmes d'étude particuliers abordés sont spécifiques aux contraintes nouvelles du procédé de stockage, il s'agit :

- du comportement et de la gestion du système, en raison du mode d'exploitation alterné des puits et de l'évolution de la température de la ressource artificielle exploitée (modèle global surface + sous-sol),

- du contrôle du déséquilibre physico-chimique du fluide caloporteur aux cours des séquences successives de réchauffement et de refroidissement (méthodes de traitement du fluide),

- de l'analyse technique des éléments de la boucle géothermale (techniques d'activation des puits et matériel d'échange),

Fournisseur pour stockage estival :

- UIOM existants, raccordés au réseau
- E. disponible = 23 000 MWh sur 5 mois
- P. disponible = 6.2 MW continue 5j/7j

Consommateur :

- 919 logements (planchers chauffants)
- Besoins annuels = 16 000 MWh
- Températures de départ : 40 - 70 C

Système souterrain :

- Réservoir : sables du Néocomien, Z = 900 m
- Gisement : T = 35 C ; h = 15 m
- Doublet de forages, D = 350 m

Fonctionnement :

- Stockage saisonnier 5 mois/7 mois
- Système puits chaud - puits froid
- Préchauffage des retours
- Appoint = sous station existante
- Injection au puits chaud, Ti = 95 C
- Injection au puits froid, Ti = 50 C env.
- Volume traité par demi-cycle : 369 600 m3

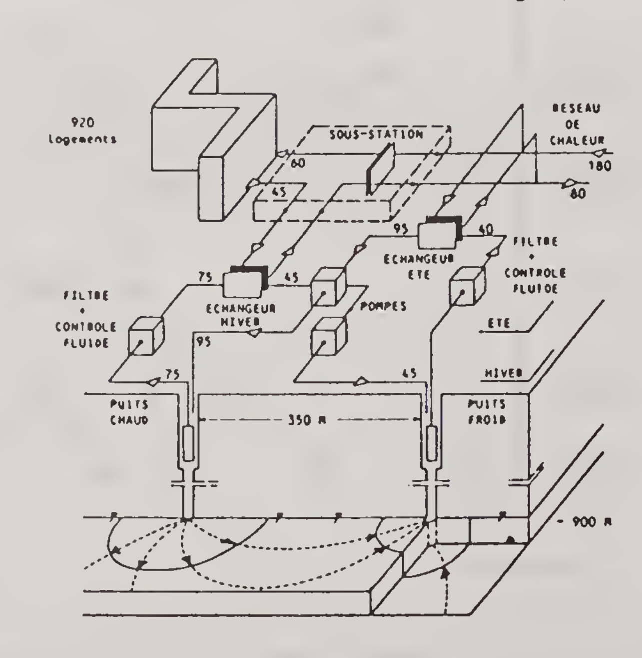


Schéma et caractéristiques principales du projet de Sarcelles

- et enfin, de l'évaluation économique et financière qui conditionne la faisabilité prévisionnelle.

Référence :

Rapport annuel d'activité 1985 de l'IMRG

BOISDET A., MENJOZ A. - Projet de stockage thermique en aquifère profond (Sarcelles, France) : Présentation technique et analyse économique. Communication A6 à Enerstock 85, Toronto, Canada, 22-26 sept. 1985.

MENJOZ A., BOISDET A. - Projet de stockage thermique en aquifère profond (Sarcelles, France) : Simulation du comportement hydraulique et thermique du système. Communication A20 à Enerstock 85, Toronto, Canada, 22-26 sept. 1985.

RECHERCHES SUR LES TECHNIQUES

Télédétection

RS 2102

Analyse spatiale des données géologiques. Le logiciel POLYHISTO

Space analysis of geologic data. The POLYHISTO software

T.T. CAO
S.L. CHEN*

Ce logiciel a été mis au point dans le cadre des programmes de recherche visant à développer le potentiel d'utilisation du système Péricolor de traitement d'images. Il est une partie des recherches conduites en vue de la rédaction d'un mémoire de thèse de doctorat (S.L. CHEN).

La complexité des processus géologiques rend souvent difficile la corrélation de divers facteurs géologiques. Le logiciel POLYHISTO fournit un outil d'aide à l'intégration de données multivariées : étude de la répartition spatiale d'un facteur en fonction de plusieurs autres. Le résultat est visualisé sous la forme d'une image classée, accompagnée d'un histogramme multidimensionnel. Dans le cas des phénomènes évolutifs, la comparaison des histogrammes successifs correspondant aux différentes périodes géologiques permet la formulation de diverses hypothèses de façon rapide et économique.

Une application de ce nouveau logiciel implanté sur le processeur d'images Péricolor 1000 a été effectué sur les données de la Montagne Noire (France). Cinq cartes thématiques (gîtes et indices minéraux, stratigraphie, paléogéographie, télédétection et anomalies géochimiques) ont été numérisées au moyen de la Caméra vidéo. Leur combinaison a permis d'étudier la répartition statistique de la minéralisation en fonction des conditions paléogéographiques, de la chronologie et dedirections structurales observées sur les images satellitaires.

On constate par exemple que les croisements de trois familles de linéaments N-S, NE-SW et NW-SE se superposent aux secteurs minéralisés.

REFERENCE :

COUJAULT RADE P., CHEN Song Lin - Apport de la télédétection à la compréhension du contexte métallogénique de la Montagne Noire (Massif Central France). A paraître chronique de la recherche minière 1er semestre 1986.

CAO T.T. - Analyse spatiale des données géologiques. Rapport BRGM.

* Université P.Sabatier - Toulouse

RS 2103

Corrections géométriques des images numériques de télédétection

Geometric corrections applied to digitalized remote sensing imagery

J.F. MALON

Des logiciels de correction ont été mis au point dans le cadre de programmes de recherche visant à améliorer les performances d'utilisation du système Comtal de traitement d'images numériques.

Les développements actuels de la télédétection obligent, pour assurer la qualité des résultats à confronter de façon de plus en plus complexe et rigoureuse des images de dates et capteurs différents ainsi que des images et des cartes de toute nature. Des transformations géométriques nécessaires sont généralement longues, sinon toujours complexes. Elles sont utilisées d'abord pour corriger les erreurs systématiques introduites par le système d'acquisition durant la phase d'enregistrement des données mais sont aussi nécessaires pour superposer des images sur d'autres images, pour produire des projections cartographiques, pour réduire ou augmenter la taille des images, faire des rotations..

Les logiciels mis au point ou améliorés se répartissent en deux groupes :

- ceux concernant les transformations nécessaires pour relier les coordonnées de l'image à un système de coordonnées géodésiques,

- ceux concernant les transformations nécessaires pour relier les systèmes de coordonnées de deux images.

Dans le premier cas on recherche la localisation géographique précise des mesures effectuées depuis l'espace par les scanneurs car elle doit être déterminée avec soin pour construire des documents superposables à des cartes, des projections cartographiques d'images, ainsi que pour l'analyse temporelle objective de séquences d'images.

Dans le second cas, on recherche des amers communs permettant de superposer plusieurs images de la même zone afin d'observer des variations de type multispectral, multitemporel ou résultant de la combinaison de données multisources.

REFERENCE :

MALON J.F. - "corrections géométriques d'images". Rapport BRGM 86 SGN 159 GEO.

RS 2104

Télédétection et recherche minière. Simulation SPOT en Nouvelle-Calédonie : application au nickel oxydé

Remote sensing and mineral exploration. SPOT simulation in New Caledonia: application to oxide nickel deposits

J.P. LAJOINIE
G. WEECKSTEEN

La région de Thio où de nombreuses exploitations de versants, anciennes et actuelles, sont associées à une lithomorphologie contrastée, est considérée comme favorable à la présence de minéralisations encore inexploitées. Dans ce cadre, les données acquises au cours d'une campagne de simulation Spot en Nouvelle Calédonie (fin 1983) font l'objet d'une première interprétation appliquée au contexte géologique et minier des concentrations de nickel dans la couverture d'altération superficielle des péridotites.

Du point de vue qualitatif, l'analyse "visuelle" d'une restitution de type fausse couleur permet d'identifier les principaux critères lithomorphologiques habituellement utilisés en Nouvelle Calédonie pour reconnaître et délimiter les zones d'intérêt minier potentiel, dans un contexte de versant.

Du point de vue quantitatif, l'approche numérique des signatures spectrales débouche sur une corrélation entre la richesse des minerais et les valeurs radiométriques. A cet égard, la sensibilité de la bande spectrale 2 se révèle être la meilleure.

Ces premiers résultats soulignent l'intérêt que pourraient présenter les données Spot au cours de la phase exploration d'une recherche minière, menée dans une région dont le contexte serait comparable à celui de la Nouvelle Calédonie.

Une meilleure valorisation des données Spot, dans la perspective d'une utilisation au cours des phases plus aval de la recherche minière, implique la poursuite d'une recherche méthodologique appliquée à une analyse plus fine des unités géologiques et radiométriques.

REFERENCE :

LAJOINIE J.P. et WEECKSTEEN W. - Télédétection et recherche minière. Application au nickel oxydé. Rapport BRGM 85 NCL 049 GEO.

RS 2105

Détection et étude de phénomènes géologiques en Aquitaine (France). Analyse et synthèse des données satellitaires thermiques. Expérimentation radiométrique in situ

Sensing and study of geological features in the Aquitaine basin. Analysis and synthesis of space thermal data. In situ radiometric experiment

Cette étude a été réalisée dans le cadre d'une thèse de doctorat de 3ème cycle de l'Université d'Orléans sous la responsabilité scientifique du BRGM.

J. BIENVENU*

Il s'agissait dans un milieu sédimentaire, le Bassin d'aquitaine, de qualifier les phénomènes géologiques révélés par télédétection thermique et de les localiser au sol avec assez de précision pour mesurer la température des objets qui leur sont spatialement associés.

Les résultats obtenus découlent de l'exploitation des données satellitaires, essentiellement thermiques (HCMM, NOAA7 et TM), couvrant le Bassin d'Aquitaine. Cette exploitation met en relief l'originalité de l'information thermique, sa complémentarité avec les données du visible et la spécificité des acquisitions jour nuit d'une part et provenant de différents capteurs d'autre part.

De la comparaison entre les cartes d'interprétation linéamentaire des images thermiques HCMM et NOAA7 et des cartes thématiques, il ressort que 25 % environ des alignements thermiques apparaissant sur les images de jour et un peu moins de nuit, sont corrélés à des éléments géologiques, en grande partie d'origine structurale. Il apparaît clairement que certains alignements thermiques sont le reflet de grandes cassures du socle qui, bien que profondes et parfois masquées en surface, peuvent être détectées sur les images de l'infrarouge thermique. Des limites anciennes de rivage et du delta landais, occultées en surface par la couverture sableuse et qui semblent contrôler des dépôts de lignite, sont soulignées par des alignements détectés sur les images HCMM montrant ainsi une nouvelle possibilité de la télédétection thermique.

L'existence de nombreux alignements thermiques dont la signification géologique n'a pu être trouvée à partir des documents existants, ouvre la voie à de nouvelles recherches car l'expérimentation de radiométrie au sol, menée sur deux sites tests, a donné de bons résultats. Elle a permis de montrer la réalité au niveau du sol dela manifestation thermique d'alignements observés sur les images satellitaires HCMM.

Au-delà de l'aspect méthodologique, les résultats obtenus au cours de cette étude permettent d'envisager certaines exploitations de la télédétection infrarouge thermique dans le domaine de la géologie de subsurface des bassins sédimentaires, et la détection de résurgences sous-marine côtière.

REFERENCE :

ROUZEAU O. - Rapport des données satellitaires thermiques Bassin de Paris. Etude des linéaments d'après les images HCMM. Mémoire DEA 85 SGN 396 GEO.

BIENVENU J., ROUSSELOT D., ROUZEAU O. - Vers une exploitation des données satellitaires thermiques pour la géologie profonde des bassins sédimentaires. Premiers résultats.

BIENVENU J., ROUSSELOT D., ROUZEAU O. - HCMM data exploitation in sedimentary Basins. A paraître 1986 Journal of geophysics.

BIENVENU J. - Résumé scientifique 1984, n° RS 1917

* Université d'Orléans

RS 2106

Hydrogéologie stéphanoise (France). Zones de drainage. Etude thermographique par télédétection aérienne

Hydrogeology of the Saint-Etienne area (France). Drainage zones. Thermal airborne study

D. ROUSSELOT

Une étude thermographique par télédétection aérienne des zones de drainage réalisée à la demande des Houillères du bassin de la Loire et de la mairie de la ville de Saint-Etienne au service géologique Rhône-Alpes, a abouti à des résultats méthodologiques significatifs.

Suite à l'arrêt de l'exploitation des Houillères du bassin de la Loire de nombreux incidents sont survenus du fait de la mise à niveau des nappes et des modifications des écoulements à faible profondeur. Il est apparu nécessaire de limiter géographiquement les zones à risques potentiels, et de quantifier ceux-ci afin que les collectivités locales puissent adapter l'aménagement de leur territoire ou prévenir un danger pour les constructions existantes.

Des études ont déjà été réalisées dans ce but mais dans le cas de Saint-Etienne on s'est appuyé sur les données thermographiques de télédétection aérienne pour mettre en évidence les zones de drainage des zones considérées en distinguant comment ces diverses zones sont alimentées (eaux de ruissellement, écoulement contrôlé par des fractures, sources profondes, etc...).

A cette fin, trois vols thermiques ont été réalisés, deux le 25 février 1985 l'un le matin, l'autre le soir, le troisième de contrôle le 21 mai 1985, et ont fourni des données photographiques et des données numériques.

La surface couverte par cette étude est d'environ 50 km^2.

La confrontation des données thermiques brutes et traitées a permis de dresser une cartographie au 1/5 000 des anomalies, en distinguant les zones chaudes liées à la faible profondeur du niveau d'eau, les lignes et les points chauds liés aux réseaux hydrographiques ou à la nappe sub-affleurante, les points chauds liés directement semble-t-il à l'exploitation minière, les anomalies thermiques autres correspondant à des objets bien identifiables ou non.

On retiendra que dans la zone du Marais et la plaine Achille, on rencontre des anomalies thermiques qui s'alignent selon certaines couches de charbon (15e et 3e Grüner).

On notera aussi qu'il est possible de délimiter grâce aux contrastes thermiques et aux jalons ponctuels positifs les zones où l'eau est proche du sol.

L'exploitation de l'imagerie spatiale Landsat TM bien que limitée au 1/50 000 confirme les principaux traits caractéristiques mis en évidence. Il apparaît qu'une exploitation à intervalle régulier des seules données thermiques de ce satellite peut donner une idée synthétique de l'évolution hydrogéologique d'une région et ceci à bon compte.

REFERENCE :

ROUSSELOT D., DUTARTRE Ph. GOUISSET Y., SCANVIC J.Y. - Rapport BRGM 85 SGN 586 RHA.

RS 2107

Sud-marocain : télédétection, indices d'humidité et classification des sédiments quaternaires

Southern Morocco: remote sensing, moisture indexes and quaternary sediments classification

F. PERNEL
Th. POINTET

La composition et l'analyse d'une image Landsat MSS au 1/100 000, couvrant la province de l'Anti-Atlas occidental, ont été réalisées par le BRGM dans le cadre d'un protocole d'accord franco-marocain pour l'étude hydrogéologique des milieux fissurés (programme de recherches HMF).

Deux types d'informations ont été analysés. Elles concernent la végétation, sa présence, sa densité et les formations sédimentaires superficielles, fines et remaniées périodiquement par le vent et par l'eau.

L'outil télédétection, par son mode de traitement qui s'applique à des données numériques et non optiques, permet d'établir une hiérarchie très sensible entre les réponses directes que sont la densité de végétation, l'humidité résiduelle dans les sols, la formation des croûtes salines, et des réponses indirectes qui, par l'état de surface des sédiments, renseigne sur la présence répétée de l'eau sur une année, sur les marques d'évaporation des nappes phréatiques, et sur l'infiltration des eaux de surface.

Ces éléments réunis, inaccessibles à la photographie aérienne classique avec cette précision, permettent une véritable reconnaissance des zones aquifères sous climat semi-aride.

Recherches sur les techniques géophysiques

RS 2108

Elargissement de la gamme d'équipements géophysiques à stockage numérique des données

Development of new geophysical equipment with digital data storage

J. BERNARD
S. GASNIER
D. LEGENDRE
B. TEXIER

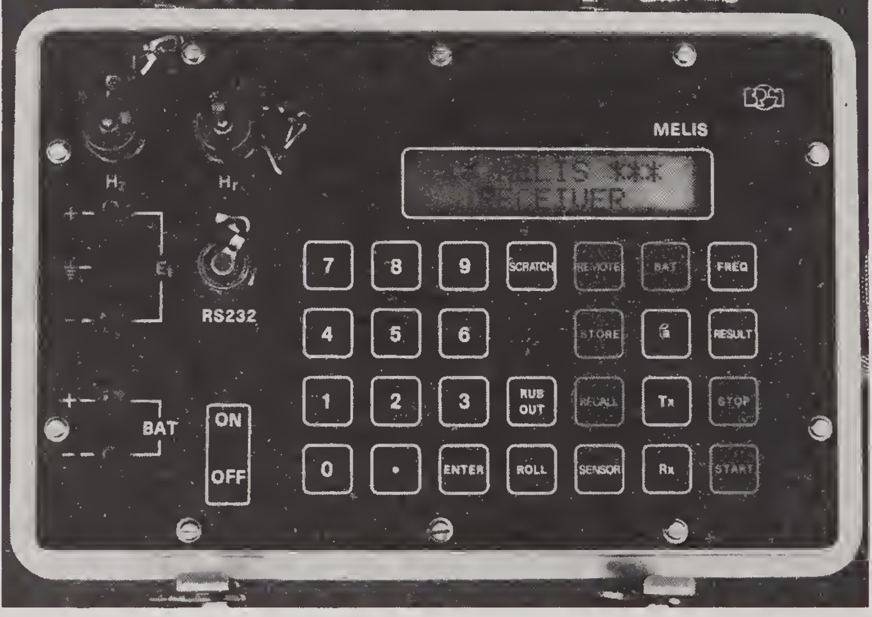
L'apparition des microprocesseurs 8 bits a permis dès 1983 de développer un nouveau résistivimètre, le SYSCAL R2 (voir RS 1673, 1983) permettant de stocker les mesures dans sa mémoire numérique interne de 200 points ; le transfert de ces mesures sur un microordinateur de terrain s'effectue en fin de journée de travail, par l'intermédiaire d'une liaison série classique, en vue d'un stockage définitif sur support magnétique pour l'interprétation ultérieure des données.

Deux nouveaux équipements de géophysique ont plus récemment été développés, en gardant cette même conception du stockage des données =

Le récepteur électrique ELREC, permettant des mesures de résistivité et de polarisation provoquée dans le domaine temporel. L'émetteur, indépendant du récepteur, peut être soit l'émetteur ELECTRA 1000 du B.R.G.M. (1 kW, 1200 V, 4 A), soit d'autres émetteurs du commerce éventuellement plus puissants, ayant la même forme de courant. L'ensemble *ELREC-ELECTRA* est bien adapté aux dispositifs dipôle-dipôle, rectangle, utilisés notamment en prospection minière et géothermique.

Le récepteur électromagnétique multi fréquentiel MELIS (voir RS 1986 : Développement du Système de prospection électromagnétique MELIS), successeur des équipements MELOS (1967) et SYSCAL EM (1980). Dans une gamme de fréquences de 0.12 à 8000 Hz, cet équipement permet la mesure simultanée de deux champs (deux magnétiques, ou un magnétique et un électrique) produits par une boucle posée à la surface du sol. Le filtrage et la mesure s'effectuent par un procédé de Transformée de Fourier, et une accumulation sélective des données permet d'optimiser le temps de mesure en fonction du bruit. Des paramètres liés à la qualité de la mesure définissent une incertitude sur la résistivité apparente calculée, qui doit être prise en compte lors de l'interprétation des données. Cet équipement, par ses possibilités de mesure aux basses fréquences, est adapté à la recherche de conducteurs profonds (miniers, géothermiques, ou hydrogéologiques).





RS 2109

Développement du système de prospection électromagnétique MELIS

Development of the MELIS electromagnetic survey system

Les méthodes électromagnétiques à source artificielle connaissent un essor récent pour la recherche des corps conducteurs. Concurrentes des

S. GASNIER
G. POTTECHER
P. VALLA

méthodes électriques, elles ont une meilleure résolution sur des objectifs profonds et sont moins perturbées par les conducteurs superficiels.

Le B.R.G.M. a choisi les méthodes fréquentielles et les sources magnétiques (boucles de courant), par opposition aux méthodes transitoires et aux sources électriques, qui imposent un matériel plus lourd et compliquent l'interprétation des résultats. Dans le système MELOS (1967) on mesure deux composantes du champ (magnétique radial et magnétique vertical ou électrique tangentiel), dont le rapport varie avec la résistivité des terrains séparant l'émetteur du récepteur. Cette méthode potentiellement puissante était toutefois très délicate voire impossible à mettre en oeuvre dans les régions au relief marqué.

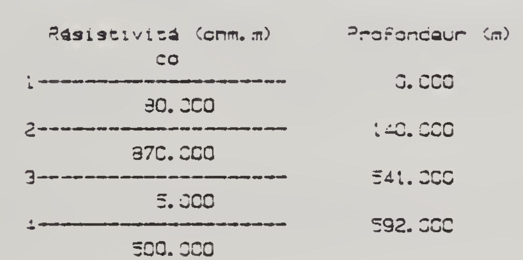
Développé pour remédier à cet inconvénient, le système MELIS mesure à la fois l'amplitude et le déphasage entre deux composantes de champ. En outre, il offre la possibilité de remplacer l'une d'elles par une mesure du courant dans la boucle d'émission. Ce dernier dispositif fournit une information plus riche, mais nécessite une liaison entre la source et le récepteur.
Un programme d'interprétation donne la réponse (champ magnétique, électrique, résistivités apparentes) d'un terrain stratifié horizontalement. Il peut aussi ajuster automatiquement un modèle stratifié à des données expérimentales, en utilisant un algorithme de Marquardt.

La méthode a été testée avec succès sur l'amas sulfuré de Bodennec (Finistère). L'expérimentation, sur un profil traversant la zone minéralisée, a permis d'apprécier l'influence de la position de la boucle, du bruit, de déterminer les conditions de mesures optimales et de vérifier la répétitivité des résultats. Ceux-ci sont cohérents et compatibles avec les données structurales et géophysiques antérieures. De plus, MELIS a détecté un conducteur à plus de 500 m de profondeur, inconnu auparavant.

Un début d'interprétation à deux dimensions, appuyé sur un modèle de plaque mince dans le vide, donne des résultats encourageants. Des programmes de modélisation 2D plus généraux sont à l'étude.

Les caractéristiques de MELIS en font un outil prometteur pour la prospection tactique sur des objectifs conducteurs (amas sulfurés, niveaux argileux). Son développement, dans le cadre d'un contrat avec la Commission des Communautés Européennes, a permis des contacts approfondis avec deux équipes travaillant à Hanovre (R.F.A.). Par ailleurs, le laboratoire d'Instrumentation du Centre de Recherches Géophysiques (C.N.R.S.) à Garchy a mis au point un jeu de capteurs magnétiques pour MELIS.

Bodennec , boucle Creac'h Pluen , station 2 .



Résistivité (ohm.m)	Profondeur (m)
co	
1	0.000
80.000	
2	140.000
870.000	
3	541.000
5.000	
4	592.000
500.000	

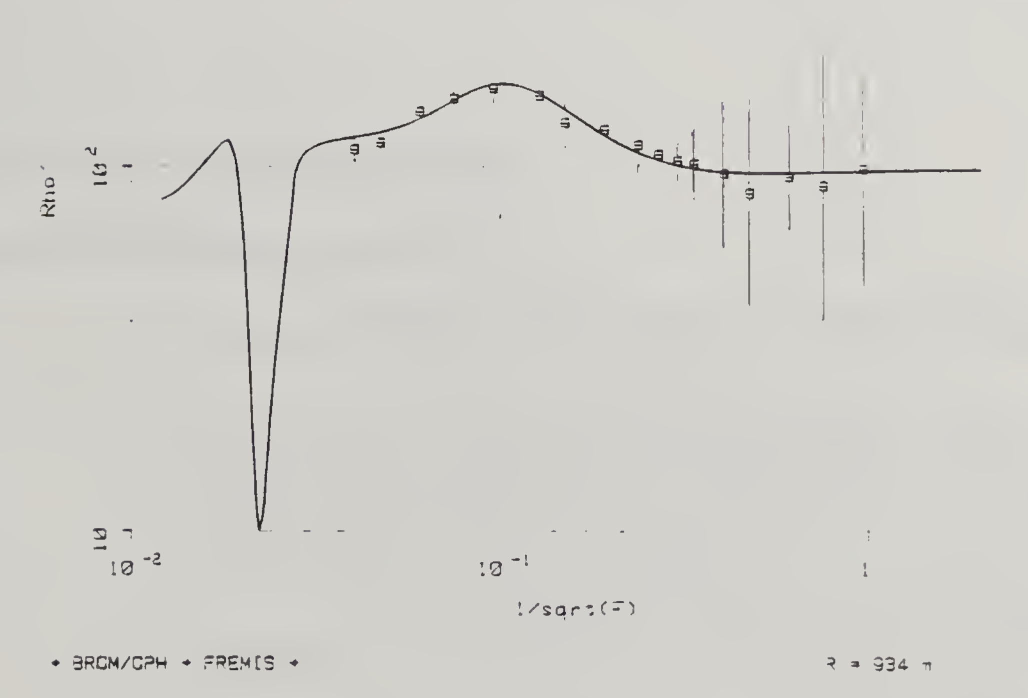


Figure : Exemple d'interprétation tabulaire de la résistivité apparente

REFERENCE :

GASNIER S., POTTECHER G., VALLA P. et CLERC G. - Mise au point technique et essai méthodologique d'un équipement géophysique électromagnétique multifréquentiel à source contrôlée avec référence de phase dans la gamme du dixième au millier de Hertz. Rapport final du contrat C.C.E. n° MSM-044-F (B.R.G.M. édit.), Orléans, 1985.

Recherches sur les techniques géochimiques

1 - Valorisation des données de la prospection géochimique

RS 2110

GOA : un logiciel de gestion des objets anomaux en recherche minière

GOA: a computer program for resolution of anomalous elements in mineral exploration

D. BONNEFOY
P. LECOMTE

Au niveau d'une réflexion de synthèse sur une région ou un sujet donné, le géologue est souvent amené à répertorier et comparer une importante collection d'"objets anomaux" comme des anomalies géochimiques ou alluvionnaires définies lors d'une prospection régionale ou encore une série d'indices minéralisés correspondant à un cadre gîtologique particulier.

L'outil informatique ad hoc doit satisfaire à différents critères :

◊ convivialité ;
◊ caractère évolutif permettant une actualisation aisée ;
◊ large gamme d'attributs pour une description exhaustive des "objets" gérés.

Le principal objectif poursuivi, outre la fonction d'archivage, est une hiérarchisation évolutive, faisant appel à l'ensemble des attributs successivement enregistrés. On peut alors procéder, à tout moment, à une sélection fiable, selon des critères choisis, et permettant de dégager les "objets" d'intérêt prioritaire.

Dans le logiciel GOA (gestion d'objets anomaux) chaque anomalie (dans le cas d'une application à la prospection géochimique) est cataloguée sous forme d'une fiche descriptive informatisée et l'ensemble de ces fiches constitue le fichier général. Celui-ci est piloté par une procédure simple permettant l'accés à n'importe quelle fiche, en utilisant des "mots clés".

En plus des mots clés une série de rubriques permet de décrire, en clair, des caractéristiques plus générales de chaque objet : contexte géologique, informations topographiques, données chimiques et minéralogiques, etc. Le libellé de ces rubriques est paramétrable.

La procédure d'accès aux fiches utilise les opérateurs logiques "et" et "ou" portant sur les mots clés pour une recherche sélective permettant le regroupement et la comparaison par thème de n'importe quel type ou famille d'objets.

En sortie, les sélections opérées peuvent être concrétisées sous différentes formes, y compris des sorties graphiques où les objets triés peuvent être replacés dans leur contexte (géologique, géochimique, etc) extrait de systèmes comme FIESTA ou SYNERGIE.

La mise au point d'un interface avec SERGE (Système-expert de reconnaissance d'anomalies géochimiques) est envisagée.

RS 2111

Le traitement multisource : le logiciel synergie

Synergy: a computer program for integration of multi-source

B. BONNEFOY
A. GUILLEN

Synergie, logiciel multifonction, permet de générer des cartes thématiques par l'intégration de données de sources diverses préalablement rendues compatibles.

La finalité du traitement est fixée par l'utilisateur. Ainsi, le géologue minier cherchera-t-il à focaliser ses recherches en associant plusieurs descripteurs tels la géologie, la prospection géochimique ou alluvionnaire, la géophysique, la télédétection, etc. L'ingénieur en environnement combinera différentes informations comme par exemple un modèle numérique des altitudes et la cote d'un horizon aquifère, pour obtenir des cartes prévisionnelles de risque lié à l'aquifère ou de coût d'exploitation de ce dernier.

Les travaux réalisés en 1985 ont abouti à la réalisation d'une première version du logiciel permettant d'associer et de gérer les différents descripteurs, d'articuler des combinaisons et de visualiser les résultats obtenus.

Ont ainsi été écrites des fonctions d'interface avec les systèmes de traitements de données géochimiques (FIESTA) et géophysiques (GMIPACK) ; d'autres fonctions, permettant la prise en compte, par digitalisation, de documents cartographiques simples, ont été introduites.

Le traitement de ces données peut se faire soit pixel par pixel (addition, multiplication, division, soustraction, évaluation d'un polynôme) ou à l'intérieur de fenêtres glissantes (filtrage, lissage, corrélation, ...). La visualisation des résultats utilise un écran ou une imprimante couleur petit format ainsi qu'une imprimante électrostatique noir et blanc grand format.

Les développements ultérieurs envisagés concernent le traitement multivarié par recherche de similitude entre un étalon défini interactivement et un ensemble de descripteurs, tous deux définis dans un espace pluri-descriptif. Un aménagement des dialogues avec l'utilisateur (menu graphique, "help") sera également réalisé tout comme une mise aux normes du logiciel de manière à obtenir un produit commercialisable.

REFERENCE :

BONNEFOY D. et GUILLEN A. - Le traitement de données multisources - Rapport BRGM 85 DAM 040 GMX.

RS 2112

Exemple de synthèse des résultats de l'inventaire minier gabonais : le secteur Abamie

Compilation of results of the minerals inventory of the Abamie district (Gabon)

B. COSTE

L'inventaire minier du Gabon met en oeuvre de façon systématique différentes méthodes de prospection : spectrométrie et magnétisme aéroportés, interprétation radar et photogéologie, prospection au sol géochimique et alluvionnaire. Dans un but de synthèse cartographique appliquée à la recherche minière un effort a été entrepris pour essayer de dépasser la simple superposition d'interprétations de résultats acquis par des méthodes différentes.

Sur la zone-test de 3500 km^2 du secteur Abamié un traitement simultané a été réalisé pour les données présentant un caractère systématique à des mailles d'observation compatibles : magnétisme, spectrométrie aéroportée, analyse multi-élémentaire des sédiments de ruisseau (ICP), détermination minéralogique des concentrés alluvionnaires. L'harmonisation des données a été effectuée en utilisant les possibilités du logiciel SYNERGIE créant pour chaque variable une grille unique de 500 x 500 m soit un total de 14028 pixels. La visualisation des images à l'échelle du 1/400 000 a permis de constituer un atlas regroupant les 40 variables présentant une distribution régionale. Il a été fait appel aux traitements statistiques multivariés permettant de condenser l'espace multivariable défini pour l'ensemble des paramètres sélectionnés dans le cadre de cette étude. La technique retenue est celle de l'analyse des correspondances précédées d'un codage logique. Le traitement a été réalisé sur 38 variables. Parmi celles-ci, 19 correspondent à des éléments chimiques, 15 à des minéraux alluvionnaires et les autres aux 4 canaux de spectrométrie.

Les résultats de l'analyse permettent, pour l'ensemble de la zone étudiée, de délimiter et caractériser 6 domaines différents. Ces unités définies en prenant en compte les 5 premiers facteurs issus de l'analyse ont été regroupés sur une carte de synthèse qui peut être comparée à l'esquisse géologique ou aux faciès issus de la télédétection. Les deux premières unités définies par les facteurs 1 et 2 délimitent et caractérisent les deux domaines géologiques les plus différenciés : socle de la Lopé et dôme granitique de l'Abamié. Ce dernier, par exemple, est très bien cartographié par de nombreuses variables séparement, mais il est très difficile de le caractériser par la géochimie seule. Comme le socle de la Lopé, il est déprimé par rapport à son environnement pour TiO_2, Li, Cu, Zn et V mais de plus pour Ba et Zr. Le plomb est le seul élément chimique qui, mis à part les majeurs K_20 et AL_2O_3 voit ses teneurs augmenter pour cette unité. Il est par contre très bien caractérisé par la spectrométrie, comptage total et surtout thorium, et des minéraux lourds particulièrement abondants : monazite, zircon, xénotime, mais aussi amphiboles, grenats, rutile et ilménite. A cette unité se rattachent les minéralisations alluvionnaires à cassitérite et colombo-tantalite.

Les autres unités correspondent à des distinctions majeures à l'intérieur des schistes cristallophylliens de l'Ogoué. A l'intérieur de cette série, dont la cartographie peut être difficilement précisée en ne prenant en compte qu'une seule variable, le traitement statistique multivarié a permis de délimiter trois unités principales, celles-ci correspondant à des bandes NS d'une dizaine de km de largeur, chacune d'elles se distinguant par sa radioactivité, sa composition chimique et son degré de métamorphisme.

Ce traitement prenant en compte l'ensemble des caractères physiso-chimiques des unités lithologiques vient compléter les observations de terrain et les études pétrographiques afin d'élaborer un schéma tectono-métamorphique de la série de l'Ogoué et des dômes gneissiques.

REFERENCES :

BONNEFOY D. et GUILLEN A. - Le traitement multi-sources. Le logiciel SYNERGIE - Rapport BRGM DAM040 GMX - DT/GPH.

BONNEFOY D. et COSTE B. - Essai de traitement simultané de l'ensemble des données de l'inventaire transgabonais : le secteur Abamié (degré carré Booue). - Rapport BRGM 85 GAB 020.

LERU P. et PIANTONE P. - Caractères de la tectonique birrimienne dans les séries métamorphiques du Gabon - Rapport BRGM 86 GAB 018 GEO.

RS 2113

Synthèse géochimique du Nord de la Nouvelle-Calédonie

Geochemical synthesis of the northern part of New Caledonia

P. BOULANGER
J. LETALENET

Depuis 1980, la prospection géochimique stratégique constitue un volet important de l'Inventaire minier de la Nouvelle-Calédonie. Elle s'appuie sur l'analyse multiélémentaire de la fraction grossière des sédiments de ruisseaux ; de larges secteurs, dont la région Nord-Ouest, ont ainsi été couverts.

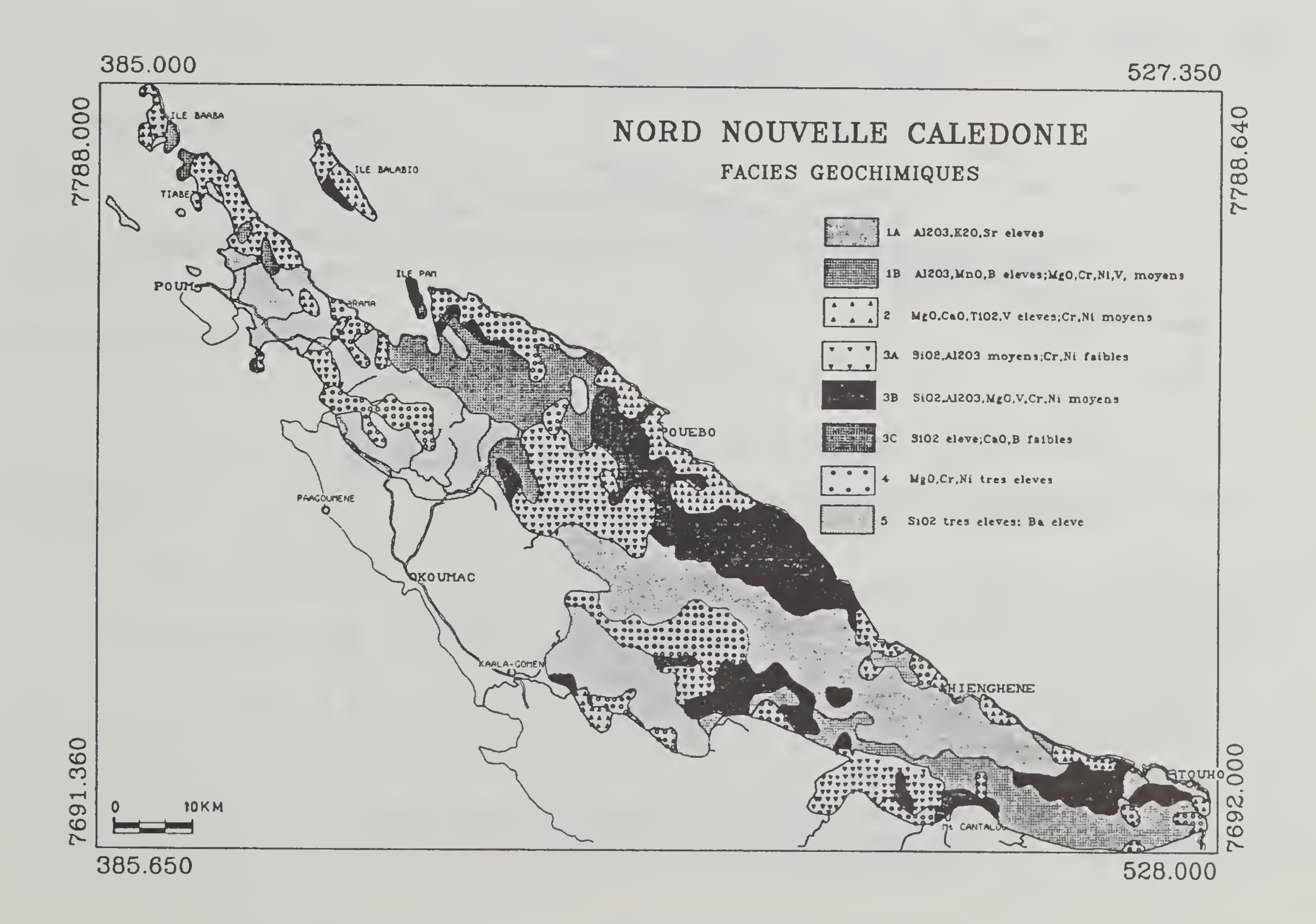
Une synthèse géochimique de cette région a donc été réalisée, dans le but de définir les caractéristiques géochimiques des principales formations géologiques y compris celles qui portent les minéralisations les plus intéressantes, et d'en fixer l'extension géographique.

Les traits caractéristiques essentiels de l'information fournie par les résultats d'analyse des 9600 échantillons pris en compte ont été dégagés grâce à l'utilisation de traitements informatisés appropriés dont la classification Ascendante Hiérarchique (CAH) et la cartographie automatique des isovaleurs pour plusieurs éléments.

Huit faciès géochimiques distincts qui reflètent la lithologie, ont ainsi été mis en évidence ; leurs limites géographiques et leurs caractéristiques chimiques sont présentées sur la figure 1 ci-jointe. On peut en tirer profit pour l'amélioration des connaissances géologiques et pour dégager des guides de prospection.

Sur le plan de la géologie, une telle synthèse vient en appui à la cartographie traditionnelle, en complétant les lacunes liées aux manques d'affleurements tout en apportant des précisions sur le chimisme des lithofaciès ou unités.

Du point de vue de la recherche minière, cette démarche facilite un raisonnement de type gîtologique, en permettant d'insérer les indices ou anomalies dans un environnement géologique mieux caractérisé. Ainsi, on a pu constater que les principaux indices à Pb-Zn-Cu de la région étudiée se situent à l'intérieur du faciès



géochimique 3 c. Par ses caractéristiques géochimiques spécifiques (teneurs en silice élevées et faibles en CaO et B), interprétées en terme de lithologie (volcanisme à la fois plus abondant et plus acide), ce faciès constitue un métallotecte privilégié pour la recherche minière.

Cet exemple illustre bien l'intérêt qu'on peut avoir à prendre du recul vis à vis d'une information cartographique ou géochimique de détail, afin de dégager des critères susceptibles d'être valorisés en exploration, au niveau de sujets très aval.

2 - Prospection géochimique en milieu tropical

RS 2114

Le comportement de l'or dans un profil d'altération de type équatorial (Dondo-Mobi, Gabon)

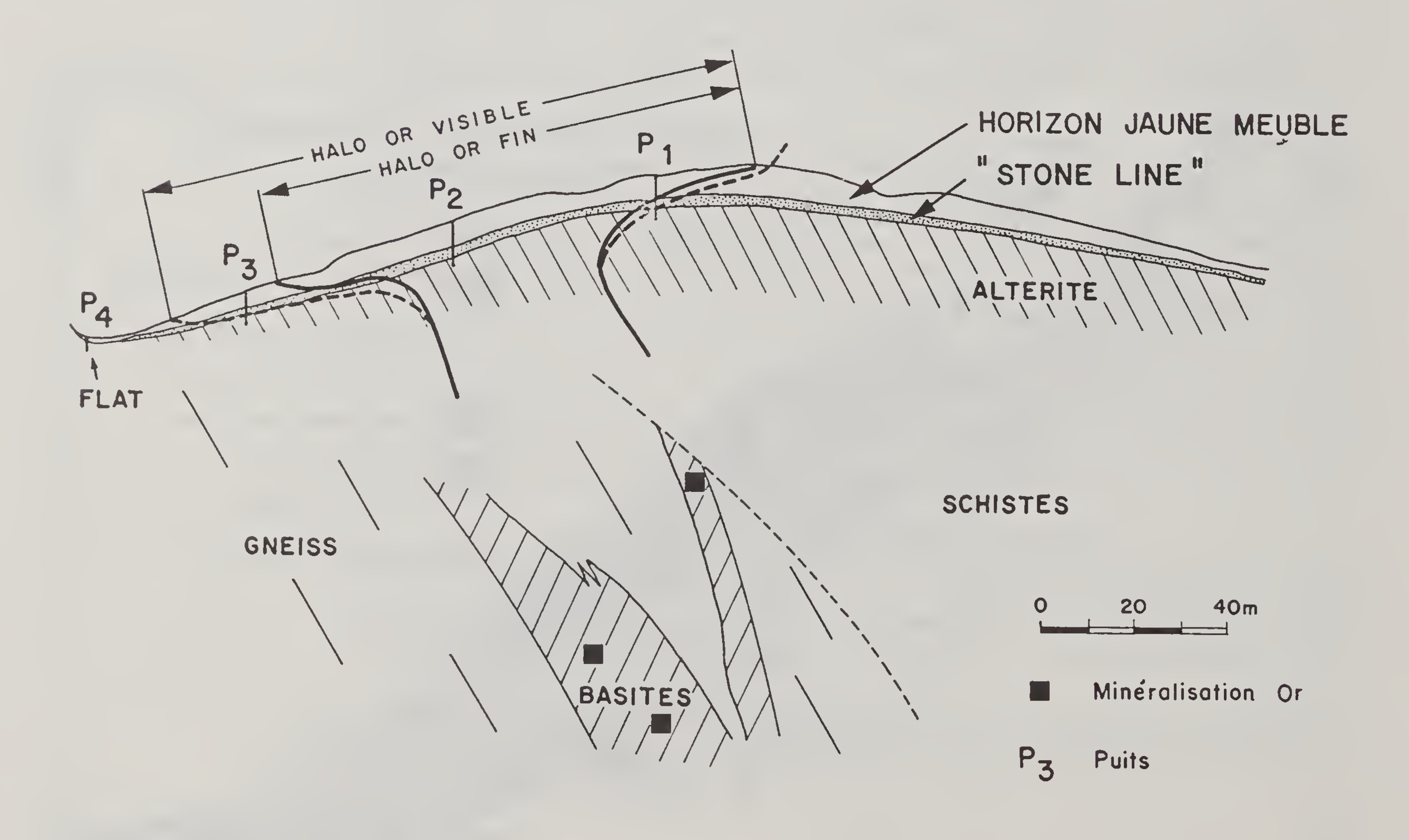
Gold behaviour in weathering profiles in the moist tropics (Dondo Mobi, Gabon)

P. LECOMTE
F. COLIN

En conditions morphoclimatiques équatoriales (Gabon), les profils d'altération sont fréquemment développés à partir d'une ancienne cuirasse latéritique. Le profil type se compose de trois horizons principaux, un horizon meuble jaune-ocre en surface, un horizon d'accumulation de nodules ferrugineux (stone line) et une altérite à structures conservées.

Une toposéquence a été étudiée à partir de 4 puits, dans le district aurifère de Dondo Mobi (région d'Etéké, Gabon) afin de caractériser le comportement de l'or et sa dispersion depuis le protore jusqu'en surface, à travers les différents horizons du profil d'altération. Deux paramètres ont été pris en compte : l'or fin, c'est-à-dire contenu dans la fraction granulométrique inférieure à 63 µ et l'or visible contenu dans les concentrés de batée obtenus par lavage de l'échantillon tout venant. Le premier de ces paramètres a été déterminé par analyse chimique et le second par l'observation au microscope (comptage des grains). Sur un des puits, la morphoscopie des grains d'or a en outre été étudiée.

A partir de la minéralisation primaire, l'or fin et l'or visible se dispersent latéralement dans l'horizon meuble de surface et le sommet de la "stone line". Aucune dispersion latérale n'est par contre, observée dans l'altérite. La dispersion latérale en or fin est aussi importante vers l'amont que vers l'aval et se fait en forme de champignon (Lecomte et al.. 1985). L'or visible présente un modèle de dispersion identique, avec, semble-t-il, un etalement aval plus important et donc la formation d'un champignon



Dondo Mobi (Gabon) - Localisation de la toposéquence et représentation schématique du halo de dispersion de l'or en surface

dissymétrique. Dans les alluvions qui constituent le maillon extrême de la toposéquence, l'or fin est absent tandis que que l'or visible s'observe à l'interface gravier-bedrock, en proportions équivalentes à celles rencontrées en place, dans les horizons des profils d'altération.

Dans la toposéquence, l'or visible se présente sous deux formes distinctes : des grains à tendance sphérique et des particules plutôt allongées. Ces dernières sont abondantes dans l'altérite à l'aplomb de la minéralisation, et seraient issues directement du gîte primaire. On les retrouve également dans l'horizon jaune meuble et dans la stone line, en proportions équivalentes à celles de l'altérite minéralisée.

La dispersion latérale des particules semble se faire par voie mécanique ; comme elle intègre à la fois les domaines morphologiques aval et amont, il est nécessaire, pour expliquer en particulier la dispersion à contre pente, d'envisager l'existence d'une ancienne surface latéritique responsable de la formation et de l'extension de l'auréole aurifère ; celle-ci aurait été reprise et modifiée par la pédogenèse équatoriale dans le profil à stone line actuel (Lecomte P. et Zeegers H., 1985).

La morphoscopie des particules (Colin F. et Lecomte P., 1986) permet de suivre leur évolution altérologique tout le long du profil depuis la minéralisation primaire. Dans l'altérite, les particules d'or sont morphologiquement semblables à celles observées dans la partie non altérée du gîte avec des faces et des arêtes de cristaux bien nettes et facilement reconnaissables. Très tot, c'est-à-dire dès la base de l'horizon nodulaire apparaît un phénomène de dissolution : de nombreux vides sont observés sur les faces des cristaux et certains cubes ou octaèdres sont partiellement dissous. Parallèlement, les bords des particules s'émoussent et s'arrondissent. Cette tendance augmente à mesure que l'on se rapproche de la surface. Si, dans l'horizon nodulaire, faces et arêtes cristallographiques sont encore facilement discernables, elles ne le sont plus dans l'horizon jaune superficiel, la corrosion chimique des cristaux d'or y étant très active. En bout de cycle, dans le flat, la plupart des particules ont disparu au profit des grains arrondis.

REFERENCES :

LECOMTE P., WILHELM E., ZEEGERS H. (1985). - Etudes méthodologiques sur la dispersion de l'or dans les profils d'altération ferralitique. Exemples de Guyane, du Gabon et de Côte d'Ivoire. Note BRGM (GMX n° 1190).
Communication présentée aux "Journées de réflexion or" à Libreville (Gabon). Mai 1985.

LECOMTE P. et ZEEGERS H. (1985). - Geochemistry of stone-line weathering profiles. Communication présentée au Workshop on geochemical exploration in humid regions, Manaus, Brazil, 25-30 août 1985.

COLIN F. et LECOMTE P. (1986). - Cycle supergène de l'or en milieu équatorial dans les profils d'altération de Dondo-Mobi, Gabon. Communication présentée au Symposium international "Geochemistry of the Earth surface and processes of mineral formation", Grenade, Espagne, 16-22 mars 1986.

RS 2115

Procédure de recherche d'une structure aurifère en milieu équatorial au Gabon

Step by step primary gold exploration in an equatorial environment, Gabon

F. BARTHELEMY
P. LECOMTE

Travail réalisé dans le cadre de l'"Inventaire Voie Ferrée Transgabonais"

D'une manière générale en milieu équatorial, la localisation précise et l'identification des sources des anomalies aurifères géochimiques ou alluvionnaires s'avère délicate.

En effet, la rareté des affleurements contrarie l'accès direct aux éventuelles structures minéralisées, et, en outre, l'altération superficielle très développée pénalise la mise en oeuvre des techniques "aveugles" telles la géochimie ou la géophysique.

Dans le cadre de l'Inventaire Transgabonais réalisé par le B.R.G.M. pour le compte du Gouvernement gabonais, une méthodologie d'approche a été développée et appliquée au contrôle systématique des anomalies issues de la phase stratégique. Elle comprend les étapes suivantes :

1) Un resserrement des prélèvements "stream-sediments" (6-7 échantillons par km2) et alluvionnaires (4 échantillons par km^2) qui permet de cerner sans ambiguïté les bassins versants anomaux.

2) Un échantillonnage en sols à maille régulière couvrant ces mêmes bassins versants. A ce stade, trois approches ont été testées :

a) loaming sur 8 litres de matériau prélevé de 0 à 40 cm avec comptage de l'or récupéré ;

b) dosage Au sur échantillons tout-venant broyés à 80 µ (seuil de sensibilité : 20 ppb) ;

c) dosage Au sur la fraction tamisée à 125 µ après un simple démottage.

La troisième solution a été retenue ; en effet, le tamisage à 125 µ aboutit à des résultats homogènes, mieux structurés et moins erratiques. Pour expliquer cette réponse améliorée, on peut invoquer :

- une minoration de l'effet de pépite ;
- l'élimination de la composante siliceuse et grossière jouant un rôle de diluant ;
- l'élimination des phases ferrugineuses grossières dont la signification en termes de lithodépendance est plus imprécise que celle de la fraction fine.

3) Un contrôle d'enracinement par lignes de sondages tarières (au pas de 5 m) atteignant l'altérite à structures conservées.

La hiérarchisation des anomalies à la suite des deux premières étapes doit faire intervenir essentiellement des critères qualitatifs comme :

- la structuration des anomalies ;
- le contexte géologique ;
- l'information géochimique multi-élémentaire qui constitue souvent un argument déterminant de sélection ;
- la taille des anomalies.

En revanche, les niveaux de teneur en or, qu'il s'agisse de stream-sediments resserrés ou de sols superficiels, ne sont à considérer qu'à titre indicatif.

En effet, on a constaté, pour l'or, un degré de lessivage dans les matériaux superficiels extrêmement variable selon les conditions altérologiques.

Ainsi, à MEBAGA, en domaine de sillon ferrifère, le modèle actuel reprend pro-parte une surface latéritique, plus ancienne, dont témoignent les nombreux vestiges présents dans les horizons à STONE LINE. L'altération actuelle, dans ces conditions, affecte un profil ancien déjà très altéré, conduisant à un lessivage extrême. Ainsi, une anomalie en sols culminant à 90 ppb Au s'est avérée correspondre, dans l'altérite, à une minéralisation à plusieurs grammes par tonne d'or. Le ratio Au-sols / Au-altérite est donc de l'ordre de 1 : 100, chiffre confirmé par d'autres éléments (Ni, Cr).

En revanche, en domaine schisto-gréseux de l'OGOOUE, le profil d'altération, développé sur une surface rajeunie, est moins épais, avec en particulier une stone line très réduite où la composante latéritique fait défaut. Dans de telles conditions, le lessivage de l'or et des autres éléments est moins accentué, avec un ratio Au-sol / Au-altérite proche de 1 : 10, voire 1 : 5.

Il apparaît donc indispensable de pondérer les niveaux de signal des anomalies, et, en particulier, les teneurs en or, par la prise en compte de paramètres géologiques et surtout altérologiques en milieu équatorial.

3 - Améliorations des techniques de prospection géochimique

RS 2116

Diagnostic précoce de la signification gîtologique des anomalies stratégiques par analyse ICP des minéraux lourds

Metallogenic significance of geochemical anomalies by ICP analysis of heavy minerals: a first diagnosis

D. ARTIGNAN

Depuis quelques années, la prospection géochimique stratégique a vu ses performances sensiblement améliorées. En effet, un échantillonnage bien maitrisé suivi d'une analyse multiélémentaire sensible et fiable fournissent des données dont l'interprétation se révèle, après contrôle, correspondre à des minéralisations d'intérêt très divers. Une sélectivité accrue et une hiérarchisation plus précoce s'imposent car, le déclin des moyens affectés à la recherche minière ne permet plus le suivi systématique et contraignant de toutes les anomalies mises en évidence et oblige à l'inverse de concentrer les efforts sur les cibles dont le devenir économique reste ouvert.

Afin de poser un diagnostic typologique précoce sur les anomalies géochimiques issues de la prospection régionale, la démarche choisie a consisté à isoler et à amplifier la composante détritique du signal géochimique, par séparation et analyse ICP des minéraux lourds contenus dans des sédiments de ruisseaux. En effet, les études méthodologiques conduites ces dernières années ont bien démontré que seules quelques phases minérales privilégiées sont responsables des anomalies géochimiques. Après avoir testé différents modes de concentration de ces phases (tamisage, séparation électro-magnétique, traitement gravimétrique) c'est la voie gravimétrique par liqueur dense qui a été retenue.

Les anomalies dont on veut préciser la signification gîtologique et donc la portée économique font l'objet d'un rééchantillonnage restreint ; les échantillons, grossièrement débourbés sur le terrain, sont traités ensuite en laboratoire, avec séparation de la fraction de densité 2,9. Après examen sous la binoculaire, le concentré est analysé à l'ICP.

Le traitement des données analytiques fait en premier lieu appel au codage binaire rendu nécessaire par leur caractère discontinu voire erratique. L'information ainsi restructurée est ensuite soumise à une analyse factorielle des correspondances dont le but essentiel est de positionner chaque échantillon dans un nouvel espace multivariable, continu, où l'application des techniques de classification est possible. On procède alors à cette classification, par le biais du programme "Nuées dynamiques" qui, dans l'espace factoriel, va comparer chaque résultat nouveau à des données de référence correspondant à des minéralisations connues.

Une application au Massif Central de cette approche a effectivement permis de classer un certain nombre d'anomalies jusqu'alors "anonymes", en les attribuant à un type gîtologique précis. Par exemple, sur le plateau d'Aigurande, on a pu distinguer les anomalies à métaux de base susceptibles de correspondre au modèle "sulfures massifs polymétalliques en environnement volcano-sédimentaire" de celles liées à des minéralisations discrètes et sans intérêt, situées à la base des lambeaux du Lias transgressif. De même, une similitude entre certaines anomalies nouvelles en or et la réponse géochimique obtenue dans les mêmes conditions dans l'environnement du gîte du Bourneix a pu être dégagée.

Ainsi, une lecture plus fine du signal géochimique émis par des échantillons anomaux permet, par une démarche analogique, une hiérarchisation très précoce des anomalies stratégiques, et donc une meilleure programmation des travaux de suivi.

RS 2117

Etude et mise au point d'une méthode de prospection géochimique par les gaz des sols

Study and adjustment of soil gas analysis for use in geochemical prospecting

Action concertée CCE MSM 042

P. DEGRANGES
J.C. BAUBRON
D. DEFOIX

Le présent contrat de recherche s'est terminé en 1985. Un bilan peut en être fait, qui concerne les procédures d'échantillonnage et les techniques analytiques, et le champ d'application en appréhendant l'influence des paramètres géologiques, pédologiques et météorologiques propre à chaque gîte sur les réponses atmogéochimiques.

Rappelons que les techniques de prospection par analyse in situ ou dans les sols de gaz et composés volatils (CO_2, O_2, He, Ar, Hg, composés soufrés...) ont été expérimentées, dans le cadre d'un contrat de recherche CCE, sur l'amas sulfuré à plomb-zinc de Meggen (RFA), le gîte filonien à zinc-plomb-argent de Saint-Salvy (France) et le stockwerk à tungstène d'Hemerdon (G.B.). Les résultats concernant les deux premiers sites ont été présentés précédemment (RS 1984 n° 1937). L'expérimentation faite sur Hemerdon a pu mettre en évidence des anomalies gaz (He-Ar-CO_2) en relation avec les passages minéralisés.

L'ensemble de l'étude permet de dégager les grandes lignes suivantes :

1) L'utilisation de CO_2, O_2 et composés soufrés nécessite l'existence d'une couverture pédologique continue et développée, limitant les échanges avec l'extérieur si les prélèvements sont faits au-delà de 50 centimètres de profondeur. Ces restrictions semblent moins affecter l'hélium ou le mercure.

2) Les analyses doivent être faites à l'échelle tactique, selon une maille de prélèvement relativement serrée (entre 10 et 25 mètres).

3) Deux types d'appareillage (chromatographie en phase gazeuse et spectrométrie de masse) sont directement utilisables sur le terrain.

La chromatographie a l'avantage d'être rapide (10 minutes par analyse) et facilement transportable, mais son champ d'application est limité à CO_2 et O_2.

La spectrométrie de masse, plus lourde et plus longue à mettre en oeuvre (30 minutes par analyse), permet par contre la détermination simultanée d'un grand nombre de composés, et en particulier celle de l'hélium dont la répartition peut aider à la détection de fractures et faciliter l'interprétation des anomalies (CO_2 à Saint Salvy).

4) Pour l'interprétation des mesures, il est nécessaire de tenir compte de la nature du prélèvement : la traversée par exemple d'une prairie ou d'un sous bois ne fournira pas le même "fond" atmogéochimique en CO_2, et la sélection des anomalies doit tenir compte de cette contrainte.

5) Les variations de température ont peu d'influence sur les concentrations en gaz d'un sol, et les rééquilibrages après la pluie sont assez rapides. On constate par contre en période pluvieuse à la fois d'importants phénomènes de dilution des teneurs en CO_2 (St Salvy, Hemerdon) ou COS (Hemerdon) et une moins bonne reproductibilité des données analytiques.

Il semble donc important de réaliser les prélèvements et les analyses en dehors de périodes pluvieuses, pour se placer dans des conditions optimum d'équilibre des gaz dans les sols et minimiser la variance due à la procédure d'échantillonnage.

6) Dans les sols, les concentrations détectées en composés soufrés sont souvent de faible amplitude (de l'ordre du ppm) ; leur présence pouvant être d'origine profonde (altération des sulfures) ou microbiologique (activité des sols), cette dernière doit être appréhendée pour une utilisation en prospection.

7) En ce qui concerne le mercure, des contenus significatifs dans les sols (dix fois le fond régional) n'ont été observés que dans des environnements de type volcano-sédimentaire. On notera néanmoins, comme cela a été observé à Saint-Salvy, que des anomalies moins contrastées peuvent être significatives de structures à minéralisation polymétallique.

8) Enfin la connaissance de la distribution du carbone organique dans les sols est utile car ce paramètre donne en première approximation une estimation de l'activité microbiologique qui peut modifier la répartition des composés gazeux (CO_2, composés soufrés).

L'ensemble des études méthodologiques nous permet de conclure que nous avons maintenant à notre disposition un outil de prospection opérationnel sur le plan de sa mise en oeuvre. Cependant, les résultats obtenus sur les cibles minières reconnues sont inégaux. Si diverses contraintes de la méthode comme l'impact de la pluviosité, de la nature des sols ou de l'activité biologique ont pu être reconnues et circonscrites, d'autres paramètres susceptibles d'intervenir sur le comportement et la concentration des gaz générés par une minéralisation dans la zone d'altération supergène restent à appréhender. D'une manière plus fondamentale, il faut reconnaitre que les progrès essentiels réalisés ont été d'ordre technologique, mais que les mécanismes de diffusion et de concentration des composés volatils, dont l'étude dépassait le cadre du présent programme, restent mal connus. Cela constitue, à notre sens, une ligne de recherche susceptible de contribuer au développement de l'atmogéochimie.

REFERENCE :

P. DEGRANGES, J.C. BAUBRON et D. DEFOIX - Etude et mise au point d'une méthode de prospection géochimique par les gaz des sols. Contrat CCE MSM 042 - Rapport final BRGM 85 DAM 049 GMX.

RS 2118

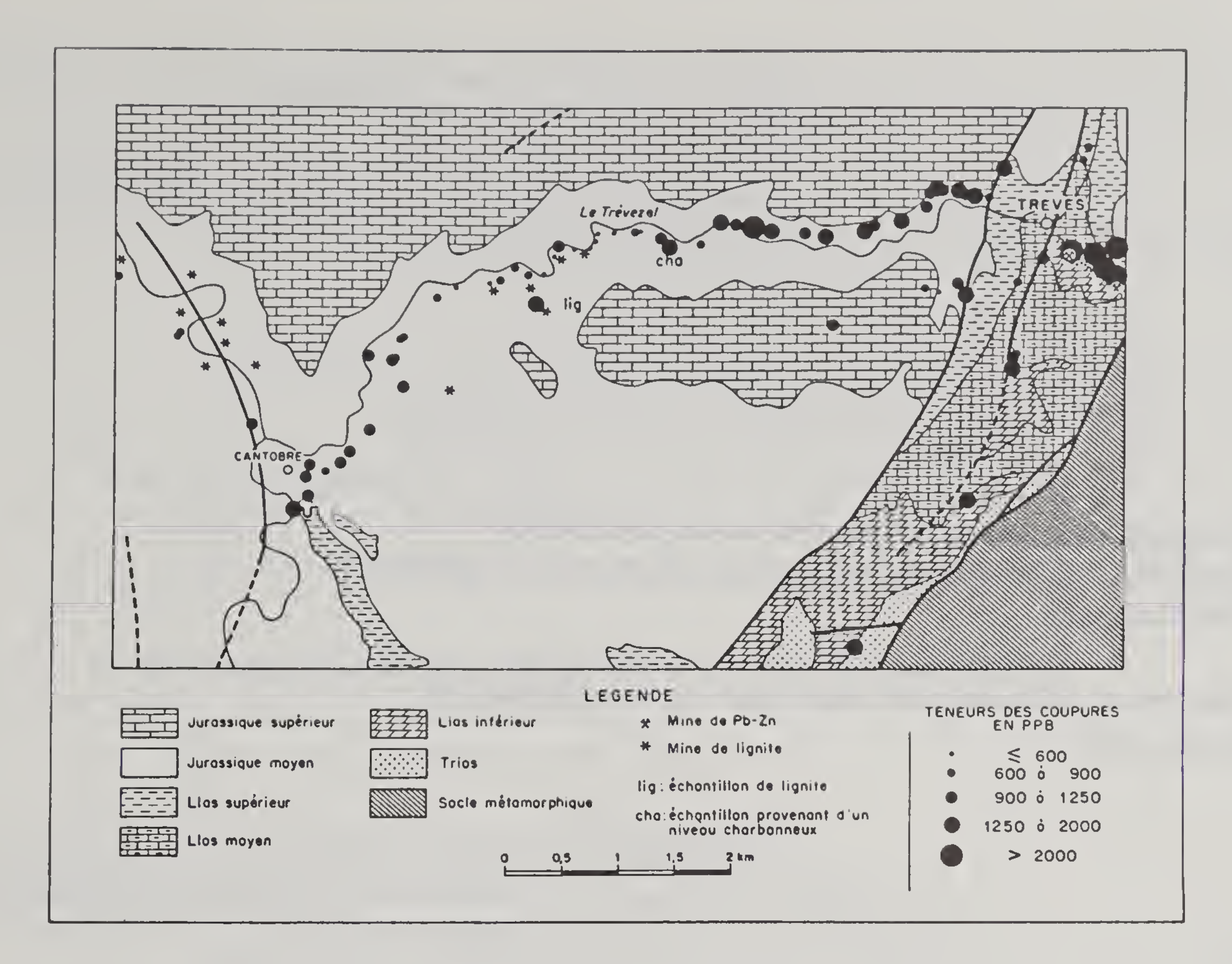
Anomalies de surface en composés hydrocarbones volatils révélateurs d'une minéralisation sulfurée cachée

Surface anomalies in volatile hydrocarbon compounds: pathfinders for hidden sulphide ore deposits

J-R. DISNAR*
B. GAUTHIER

Une méthode de prospection des gîtes sulfurés cachés basée sur l'analyse des hydrocarbures légers contenus dans les roches (alcanes et alcènes, de C1 à C4; Carter et Cazalet, 1984) a été testée sur le site de Trèves (Gard, France).

Dans un premier temps, l'analyse d'échantillons provenant des minéralisations et de leur encaissant carbonaté a permis de mettre en évidence



Répartition du méthane occlus dans les roches prélevées à l'affleurement, au voisinage du gîte de Trèves.

des variations qualitatives et quantitatives de la fraction gazeuse analysée, à l'intérieur du volume étudié (Disnar et Gauthier, 1985; Disnar et al, 1984, 1986). Ces variations ont été interprétées comme le résultat de la génération des constituants étudiés à la faveur des processus diagénétiques et épigénétiques responsables du dépôt du minerai, et de leur migration différentielle ultérieure, au sein de l'encaissant des minéralisations.

Dans un second temps, 81 échantillons d'affleurements ont été analysés afin de vérifier l'existence d'anomalies de surface résultant de la progression de la migration de ces constituants à travers la couverture sédimentaire et révélatrices de la minéralisation sous-jacente (Disnar et Gauthier, 1985). L'essentiel de cet échantillonnage a été constitué de calcaires et de dolomies jurassiques prélevées le long d'une coupe Est-Ouest longue de près de 7 km et débutant à l'aplomb du gîte, en bordure du socle métamorphique (Figure). Quelques échantillons ont aussi été prélevés le long d'une petite coupe de direction Sud - Sud-Ouest qui permet de descendre dans la série, jusqu'au Trias. Des échantillons de minerai et de l'encaissant des amas (11) ont aussi été analysés pour comparaison.

Les résultats obtenus permettent de mettre en évidence des variations significatives dans la teneur des roches en composés hydrocarbonés volatils, ainsi que dans leurs proportions respectives dans la fraction analysée, en fonction de la proximité de la minéralisation (Disnar et Gauthier, 1985). On peut ainsi délimiter trois zones anomaliques surimposées, délimitées de la plus petite à la plus grande par : le méthane (teneurs relatives; ∿ 3 km de rayon; Figure); les alcènes (teneurs relatives ; ∿ 2 km) et les alcanes (teneurs relatives ; ∿ 1 km).

Ces observations sont confortées par l'existence d'une anomalie de surface, faible, mais significative en mercure.

Une étude comparable est en cours sur le gîte des Malines (Disnar, Gauthier et Lagny, à paraître).

Cette approche illustre les possibilités que peuvent offrir les méthodes de la géochimie organique à la recherche minière.

REFERENCES :

CARTER J.S. et CAZALET P.C.D. (1984) - Hydrocarbon gas geochemistry - a new mineral exploration technique. Communication présentée au colloque : "prospecting in areas of glaciated terrain" (I.M.M., Glasgow, mai 1984).

DISNAR J.R., GAUTHIER B. et CARTER J.S. (1984) - Une technique nouvelle de prospection des gîtes minéraux basée sur les hydrocarbures gazeux contenus dans les roches. Résultats préliminaires obtenus sur le gîte Zn-Pb de Trèves (Gard, France). Résumé scientitique du BRGM n° 1936, p. 295-296.

DISNAR J.R. et GAUTHIER B. (1985) - Application de l'étude des composés hydrocarbonés volatils contenus dans les roches à la prospection des gîtes

sulfurés en environnement carbonaté - Résultats obtenus sur le gîte de Trèves (Gard, France). Rapport BRGM n° 85 DAM 042 GMX, 22 pp.

DISNAR J.R., GAUTHIER B. et CARTER J.S. (1986) - Utilisation des hydrocarbures gazeux en prospection régionale des minéralisations Pb-Zn de couverture : application au gîte de Trèves (Gard, France). Chron. Rech. Min., 482, p 67-75.

* CNRS, détaché au BRGM.

RS 2119

Indicateurs géochimiques révélateurs de la proximité de minéralisations sulfurées : application à la bordure orientale du bassin des Causses

Geochemical indicators of sulfide orebodies: application to the eastern margin of the Causses basin, France

B. GAUTHIER
J-R. DISNAR*

Des études de géochimie organique et minérale ont été réalisées sur des échantillons de sondages provenant de différents sites caussenards (Lanuéjols, Florac, Villemagne). Les résultats obtenus ont été comparés à ceux qui ont permis la définition du mode de genèse du gîte de Trèves (Gauthier, 1984 ; Gauthier et al., 1985 a et b, Disnar et al., 1985).

Les renseignements fournis par l'étude de la matière organique font apparaître des différences significatives d'ordre sédimentologique et diagénétique entre les trois sites étudiés.

A Lanuéjols comme à Florac, l'évolution diagénétique d'enfouissement de la série a amené la matière organique des niveaux non dolomitisés au début de la "fenêtre à huile". Celle qui est présente dans les dolomies apparaît légèrement plus évoluée ; ceci, comme à Trèves, peut s'interpréter comme la conséquence de venues hydrothermales. Cependant, la nature chimique de ces matières organiques diffère entre ces deux sites. A Lanuéjols on note, notamment dans le Lotharingien inférieur, la présence de bitumes apparemment analogues à ceux observés dans et à très faible distance des minéralisations de Trèves (Gauthier et al., 1985 b). De tels bitumes sont parfois trouvés en faibles quantités dans quelques échantillons du Lotharingien supérieur de Florac. De plus, alors que dans ce site, la marque de l'épisode hydrothermal ayant affecté le volume dolomitisé est le principal fait enregistré par la matière organique, à Lanuéjols, les processus de biodégradation apparaissent prédominants.

La matière organique du gîte de Villemagne, qui diffère des sites précédents par sa nature filonienne, a atteint un état diagénétique bien supérieur à ceux de Florac, de Lanuéjols et même de Trèves. En dépit de cette évolution plus poussée, la matière organique de ce site porte aussi les marques d'un phénomène de biodégradation.

Les études de géochimie minérale conduites sur les échantillons étudiés du point de vue de leur contenu organique font ressortir des variations de leur composition chimique comparables à celles mises en évidence à Trèves (Gauthier, 1984). Celles-ci s'y exprimaient par des anomalies en Pb, Zn, Ag, Sn, Sb, As, Cd et Hg particulièrement accentuées au niveau des dolomies encaissantes proches des cavités actuellement minéralisées. A Lanuéjols et Florac, les teneurs en ces mêmes éléments décroissent progressivement d'Est en Ouest, à mesure que l'on s'éloigne des failles qui ont vraisemblablement servi de drains aux fluides minéralisateurs. Les teneurs en bitumes de ces mêmes roches présentent une évolution similaire.

Cette étude, réalisée sur des sondages stériles et faiblement minéralisés montre qu'au stade de l'exploration, les données géochimiques organiques et minérales acquises sur un gîte (Trèves dans l'exemple présent) peuvent être transposées à des sites voisins pour y orienter les travaux et apporter une contribution à l'évaluation de leur potentiel minier. Dans le cas des zones explorées de Lanuéjols et Florac, les caractéristiques géochimiques des échantillons étudiés indiquent, soit que celles-ci se trouvent en position distale (≈ 1 km) et trop à l'ouest d'un gîte éventuel, soit que les processus qui à Trèves ont permis la mise en place d'un gîte n'y ont pas connu l'ampleur et l'intensité nécessaires au dépôt de concentrations exploitables.

REFERENCES :

DISNAR J-R., GAUTHIER B., CHABIN A. et TRICHET J. (1985). - Early biodegradation of ligneous organic materials and relation to ore-deposition in the Trèves Zn-Pb ore body. Comm. présentée au 12ème Cong. Int. de Géochimie Organique, Jülich, RFA. et à paraître dans Org. Geoch.

GAUTHIER B. (1984). - Etude de la matière organique associée aux séries carbonatées, minéralisées, du gîte Zn-Pb de Trèves (Gard, France). Implications génétiques. Th. de 3ème cycle, Orléans, 219 p.

GAUTHIER B., DISNAR J-R., MACQUAR J-C. et TRICHET J. (1985a). - Pétrographie de la matière organique des séries carbonatées liasiques du gîte Zn-Pb de Trèves (Gard, France). Implications génétiques. C.R. Acad. Sc Paris, sér. II, 300, 413-416.

GAUTHIER B., DISNAR J-R., MACQUAR J-C. et TRICHET J. (1985b).- Sur une altération particulière du kérogène des séries carbonatées dolomitisées et minéralisées : exemple du gîte Zn-Pb de Trèves (Gard, France). Implications génétiques. C.R. Acad. Sc. Paris, sér. II, 301, 33-38.

DISNAR J.-R. - Résumés scientifiques 1984 : RS 1753, RS 1804, RS 1807, RS 1936.

* CNRS - BRGM

4 - Prospection géochimique et environnement

RS 2120

Prospection géochimique et environnement

Geochemical exploration and environmental purpose

L. LAVILLE-TIMSIT

La connaissance des sols en vue de leur protection et de leur utilisation dans les années à venir, constitue l'une des préoccupations des responsables des problèmes d'Environnement, aussi bien en France qu'en Europe. Cette connaissance devra intégrer l'ensemble des données disponibles ; parmi ces données, les résultats de la prospection géochimique méritent d'être valorisés dans cette nouvelle optique en utilisant les techniques de traitement développées à l'origine pour les besoins de la recherche minière.

- Il existe en effet, en France, une couverture géochimique multiélémentaire des massifs anciens et de leur bordure sédimentaire immédiate, réalisée par le BRGM dans le cadre de l'Inventaire des ressources minérales du sous-sol ; elle intéresse plus de 100 000 km^2 du territoire métropolitain où 325 000 échantillons (sols et sédiments de ruisseau) ont été prélevés et analysés*. L'interprétation des données analytiques tient compte de l'environnement géologique, morphologique, anthropique, etc ... Les variations de teneur des différents éléments permettent de définir pour chacun d'entre-eux des fonds géochimiques régionaux, en relation directe avec le substrat géologique. Elles permettent aussi d'isoler, dans chaque cas, des zones à concentrations anormalement élevées en certains éléments résultant soit de phénomènes naturels (existence de minéralisations p.e.), soit de phénomènes anthropiques (déblais miniers, décharges, traitements agricoles, ...).

La restitution infographique totale ou partielle de ces informations peut être faite à différentes échelles. Nous avons choisi, à titre d'exemple les variations des teneurs géochimiques en nickel sur l'ensemble du Massif des Vosges (15 000 échantillons) ; à ces variations régionales on a superposé les points à très fort contenu en plomb (fig. 1). Les images obtenues permettent de cerner rapidement les problèmes posés dans différents domaines : recherche minière, mais aussi questions relatives à la cartographie géologique et pédologique, à l'utilisation des terrains agricoles, au recensement des pollutions ...

- En ce qui concerne les problèmes de pollutions, la connaissance régionale des variations géochimiques est indispensable pour apprécier la capacité d'un élément donné à provoquer des nuisances sur l'environnement. Des concentrations élevées peuvent en effet résulter de phénomènes naturels, comme le montre parfaitement le cas de l'arsenic sur la feuille à 1/50 000 de Saint Léonard de Noblat dans le Massif Central (fig. 2). Les teneurs qui, en valeurs absolues, dépassent le seuil d'urgence admis pour les sols (50 à 200 ppm As suivant les normes admises par des différents pays européens) sont en effet associées à une formation géologique bien précise, les migmatites ; elles constituent une anomalie formationnelle, dont le rôle en terme de nuisances vis à vis de l'environnement resterait à préciser. Il en est de même autour de l'ancienne exploitation de tungstène de Puy-les-Vignes (zone cernée de noir) où des concentrations élevées en arsenic (plusieurs centaines de ppm) ne s'étalent pas au-delà de la surface occupée par des minéralisations disséminées reconnues sur le terrain.

- Les techniques de traitement statistiques des données multiélémentaires permettent enfin de distinguer diverses origines possibles pour des anomalies d'un métal donné. L'exemple du secteur de Chessy les Mines, dans le Beaujolais, est à cet égard

* 22 éléments : Fe_2O, Mn, Ba, P, V, B, Sb, As, Pb, Cu, Ni, Cr, Ag, Zn, W, Mo, Co, Be, Cd, Y, Nb, Sn.

882.000 977.100
412.000 412.000
150 PPM PB A 1000 PPM
NI en PPM
SUP. A 60
55 - 60
50 - 55
40 - 50
35 - 40
30 - 35
25 - 30
20 - 25
15 - 20
INF. A 15
288.500 288.500
882.000 977.100

Fig. 1 - Vosges

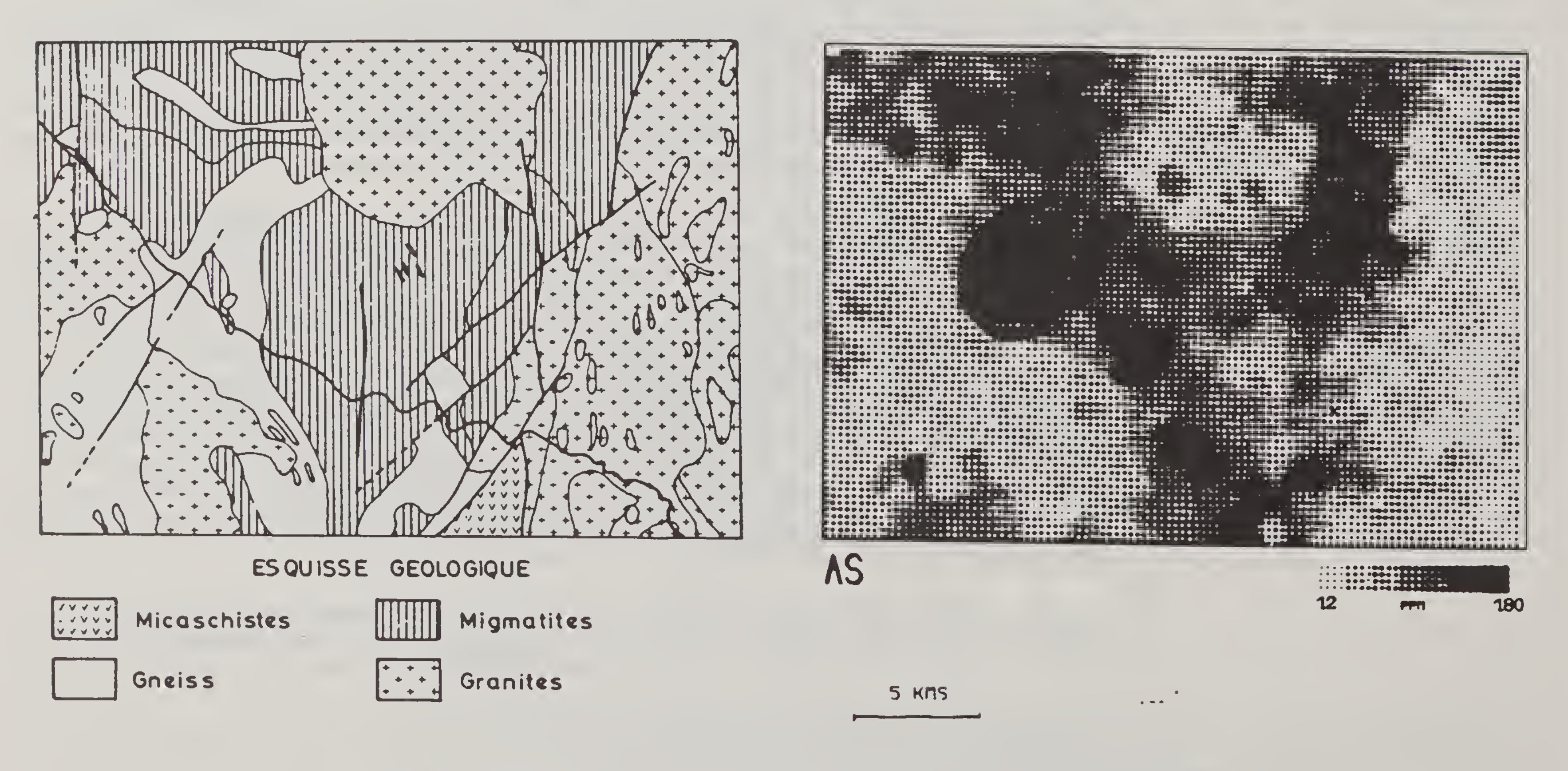


Fig. 2 - St Léonard de Noblat (Massif central)

particulièrement démonstratif : les anomalies en cuivre résultant du traitement des vignobles se différencient nettement de celles associées aux minéralisations cuprifères ou aux déblais des anciens travaux miniers.

Ces exemples parmi bien d'autres montrent que ce type d'approche permettrait en particulier de prévoir et de circonscrire les risques éventuels de pollution liée à l'existence de concentrations métalliques anomales dans un milieu donné. Ils indiquent aussi la possibilité d'étendre à différents domaines les apports de la géochimie de surface. Il faut en particulier mentionner le champ d'application qui s'ouvre dans le domaine de la pédologie où l'influence de certains caractères géochimiques sur la productivité des sols pour diverses cultures mérite d'être mieux cernée. Des études méthodologiques, en collaboration avec L'INRA et le Service de la Carte pédologique de France, commencent à se développer dans cette direction.

5 - Géochimie isotopique

RS 2121

Sources des minéralisations filoniennes armoricaines d'après la géochimie isotopique du plomb

Lead isotopes as tracers of metal sources in Armorican vein mineralizations

J.Y. CALVEZ
E. MARCOUX

Une étude isotopique a été réalisée sur l'ensemble des minéralisations filoniennes du Massif Armoricain ainsi que sur certaines formations, essentiellement granitiques, de leurs environnements.

Les similitudes constatées entre les compositions isotopiques du Pb permettent d'établir des relations génétiques entre ces deux ensembles, les minéralisations acquérant leur charge métallique (Pb, mais aussi Zn, Cu, Ag, etc...) auprès des roches environnantes affleurantes (domaines mancellien et centre-armoricain). Cependant, pour certains domaines (sud-armoricain en particulier), l'interprétation implique une origine des métaux à partir de roches sources non reconnues dans l'environnement immédiat. Ainsi les minéralisations pneumatolytiques (à As, Bi, Au, etc...) hercyniennes, de la Baie d'Audierne à la région choletaise, présentent des compositions isotopiques du Pb "retardées" (6/4 Pb = 18.05 à 18.20 ; 7/4 Pb = 15.56 à 15.59 ; 8/4 Pb = 38.05 à 38.10) reflétant la participation d'un plomb aux caractéristiques isotopiques comparables à celles d'un manteau océanique.

A l'opposé les compositions isotopiques des minéralisations à Sb de Vendée (6/4 Pb : 18.55 à 18.59 ; 7/4 Pb : 15.73 à 15.75 : 8/4 Pb = 38.78 à 38.92) montrent que la source principale du plomb doit être cherchée dans des roches ayant eu un temps de résidence prolongé dans un environnement crustal. Ces résultats appuient l'existence d'une croûte continentale d'âge protérozoïque déjà soupçonnée dans cette région (Peucat et al., 1982 ; Vidal et Postaire, 1985).

REFERENCES

PEUCAT J.J., VIDAL Ph., GODARD G. et POSTAIRE B., 1982 - Precambrian U-Pb ages in eclogites and garnet pyroxenites from South Brittany (France) : and old oceanic crust in the west European Hercynian belt ?. Earth Planet. Sci. Lett. 60, pp. 70-78

VIDAL Ph. et POSTAIRE B. 1985 - Etude par la méthode Pb-Pb de roches de haut grade métamorphique impliquée dans la chaîne hercynienne. Chem. Geol. 49, pp. 429-449.

RS 2122

Approches paragénétique et isotopique (Pb) des phénomènes d'héritage de métaux

Metal inheritance phenomena: mineralogical and lead isotopic evidence in vein deposits

E. MARCOUX
J.Y. CALVEZ

Trois filons minéralisés ont été choisis pour illustrer l'importance et la complémentarité des études paragénétiques et de la géochimie isotopique du plomb pour appréhender les problèmes de source et d'héritage métallique.

Ces filons présentent une minéralogie complexe, polyphasée, qui résulte de la superposition de plusieurs épisodes minéralisateurs, chacun s'ex-

primant par une paragenèse sulfurée spécifique. Les études paragénétiques permettent d'établir une chronologie minérale et une caractérisation physico-chimique de chaque épisode (chimie des solutions, domaines de stabilité des minéraux), mais n'autorisent pas l'établissement de filiations entre les différentes paragenèses (remobilisation par exemple).

L'utilisation des compositions isotopiques de Pb des minéraux issus de chaque paragenèse autorise un tel diagnostic. Ainsi pour :

1) *Le filon à As-Pb-Au-Sb de Labessette* (Puy de Dôme), la géochimie isotopique montre que le Pb des minéraux tardifs (bournonite, semseyite) est hérité de la galène précoce et ne provient pas d'une source extérieure au filon. Seul l'antimoine est apporté.

2) *Le filon à Sb-Pb-Ag-Cu des Borderies* (Puy de Dôme), le plomb de la paragenèse tardive (zinkénite, semseyite) résulte d'un mélange entre un plomb hérité de la paragenèse précoce (jamesonite, andorite) et un plomb étranger au filon.

3) *Le filon à Pb-Sb-Au des Cougnasses* (Hautes-Alpes), la similitude des compositions isotopiques des différents minéraux du filon confirme que la paragenèse tardive (boulangérite) correspond à un strict remaniement de la paragenèse précoce (zinkénite). Le second stade paragénétique résulte d'un départ préférentiel d'antimoine.

De tels phénomènes d'héritage des métaux ont été vérifiés par cette technique à l'échelle régionale.

RS 2123

Minéralogie, géochimie isotopique et inclusions fluides des cuttings d'Asal II (République de Djibouti)

Mineralogy, stable isotope and fluid inclusion studies of drill cuttings from Asal II (Republic of Djibouti)

Contrat CCE n° MSM 032 F (RS)

A.M. FOUILLAC
F. CESBRON
F. PILLARD
O. LEGENDRE

Deux forages géothermiques ont été réalisés dans le rift d'Asal. Le premier, Asal I, a produit un fluide (eau, vapeur) dont la température en tête de puits était de 250° C. Le deuxième, distant de 800 m, était sec, mais donnait des températures du même ordre de grandeur. Une étude minéralogique, isotopique (O, D, S, C) et des inclusions fluides a été faite sur les cuttings du forage Asal II. Vingt huit échantillons ont été prélevés de façon régulière le long du sondage afin d'en donner une image représentative.

L'ensemble des résultats montre une altération importante et générale sur toute la hauteur du log.

Les principaux minéraux néoformés sont la calcite et le quartz mais la présence de chlorite, illite, montmorillonite est également fréquente. On note de façon ponctuelle selon les niveaux la présence d'épidote, d'albite, d'adulaire.

Des traces de wairakite (zéolite) ont été détectées par l'analyse aux R.X. mais n'ont pas été observées sur les lames minces étudiées.

Les analyses isotopiques de l'oxygène sur roches totales et sur minéraux (quartz et carbonate) permettent d'évaluer certains paramètres de l'interaction eau-roche : la température et le rapport eau/roche.

Le log des températures isotopiques est en très bon accord avec les mesures in situ, la minéralogie (apparition successive du quartz, de l'adulaire, de l'albite et de l'épidote en fonction de la profondeur) et les températures obtenues à partir des inclusions fluides des quartz et calcites néoformés.

Les différentes estimations de rapport eau/roche montrent qu'il existe des variations importantes dans la circulation des fluides en fonction de la profondeur : la partie supérieure du sondage est moins altérée [0.5 (W/R) masse < 3] tandis que le niveau à rhyolites (environ - 300 à - 600 m) et la partie inférieure du sondage témoignant de circulations importantes [(W/R) masse ≥ 50].

Ce travail a fait l'objet de deux rapports détaillés (85 DJI 036 MGA et 85 DJI 075 MGA).

Recherches sur les techniques analytiques

1 - Développement des outils analytiques de laboratoire

RS 2124

Localisation des éléments en traces dans les sulfures à l'aide des microsondes électroniques (EPMA) et protoniques (micro-pixe)

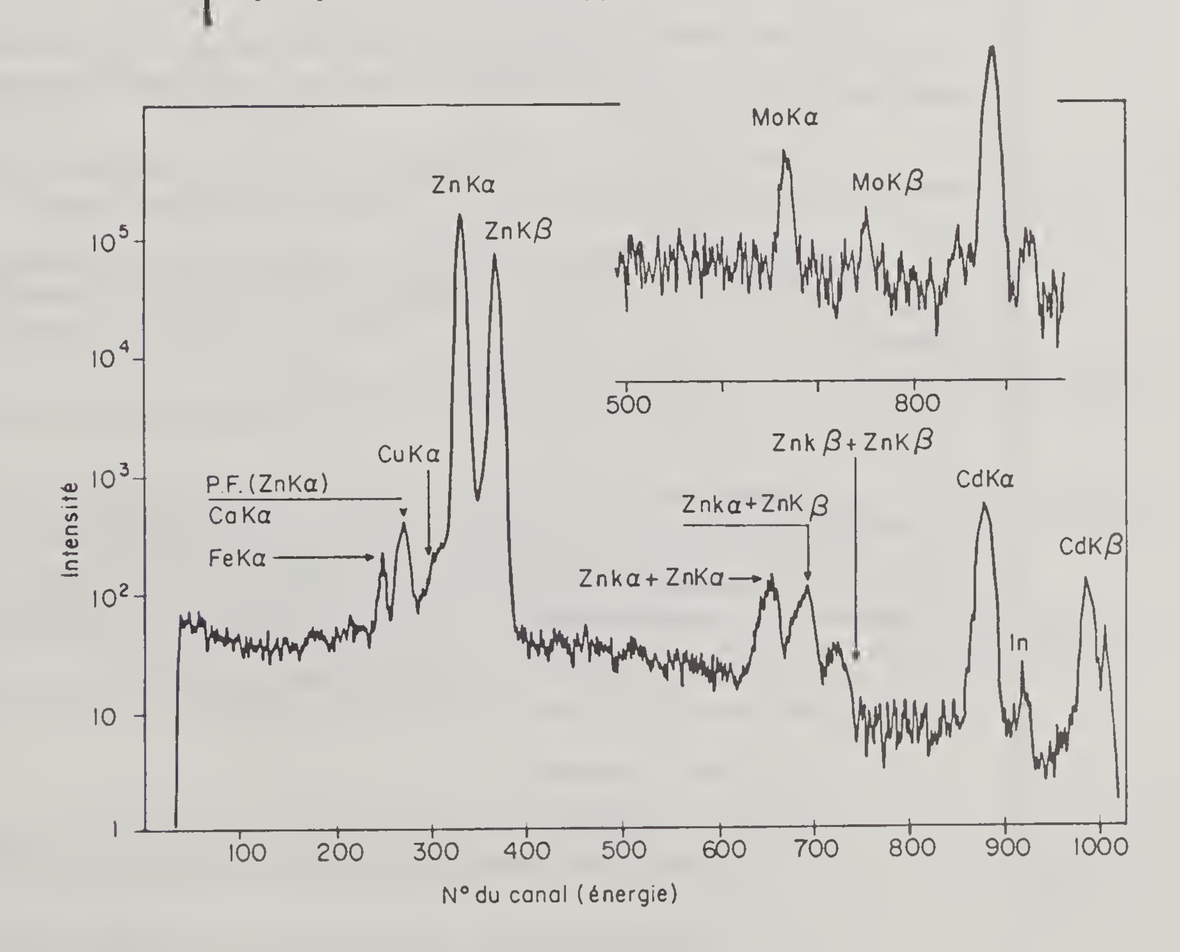
Electron probe (EPMA) and proton probe microanalyses (micro-pixe) applied to the study of trace elements in sulfides

F. CESBRON
G. CLAVEL
C. GILLES
G. REMOND

La complémentarité des microsondes électroniques et protoniques a été évaluée pour l'analyse des éléments à l'état de traces dans les sulfures (chalcopyrite et sphalérite) en insistant plus particulièrement sur Ag, Cd, In, Se, Ga, Ge et Hg. La microsonde électronique du laboratoire commun BRGM-CNRS et la microsonde protonique de l'Institut Max Planck à Heidelberg. (RFA) ont été utilisées. Les données ont été traitées à l'Université de Guelph (Ontario, Canada).

Chalcopyrite - En ce qui concerne les chalcopyrites argentifères de Hilton Mine et de Izok Lake (Australie) un accord excellent (environ 6 %) pour des teneurs en Ag respectives de ~ 1500 ppm et ~ 400 ppm a été obtenu. Par rapport à la sonde électronique la limite statistique de détection obtenue avec le micro-PIXE est améliorée par un facteur de ~ 10 (dans le cas de la sonde électronique cette limite de détection est ~ 300 ppm). La justesse des données de l'EPMA est fortement influencée par la présence, en surface, de couches minces contenant des éléments supposés être présents comme impuretés dans le volume. Les sensibilités respectives de l'EPMA et du micro-PIXE à la présence de telles couches minces ont été évaluées en étudiant des sulfures polis recouverts de couches d'argent de 10 et 20 nm d'épaisseur. Les comparaisons entre les données expérimentales et calculées ont montré que des couches de quelques dizièmes de nanomètres seulement à la surface de la chalcopyrite conduisent, dans le cas de la microsonde électronique, à des intensités équivalentes à celles qui seraient mesurées dans le cas d'une concentration en volume d'environ 400 ppm Ag. Dans le cas du micro-PIXE, les intensités mesurées seraient équivalentes à celles caractéristiques d'une concentration apparente d'argent de 10 à 20 ppmn seulement.

Ainsi, bien que l'analyse par micro-PIXE soit sensible à la présence de contaminations superficielles, leur influence sur la signification des données micro-PIXE peut être négligée pour les concentrations supérieures à quelques centaines de ppm.



Exemple de spectre X de sphalérite obtenu avec la microsonde protonique.

Sphalerite-L'analyse par micro-PIXE de matrices (Zn,Fe)S est plus complexe que dans le cas de la chalcopyrite en raison des variations importantes des teneurs en Fe.

La mesure des intensités expérimentales et les concentrations correspondantes calculées pour les rayonnements Cd Kα, Ag Kα, In Kα et Hg Lα peuvent être traitées en adoptant pour composition de la matrice celle d'une sphalérite ne contenant pas de Fe. Par contre le traitement des données caractéristiques de Ge (Ge Kα) et surtout de Ga (Ga Kα) nécessite la connaissance de la composition exacte de la matrice (influence de Fe et Cu).

Nous avons utilisé les résultats d'analyses à la microsonde électronique pour les éléments majeurs et mineurs pour le traitement quantitatif des intensités X représentatives des éléments à l'état de traces analysés avec le micro-PIXE.

L'utilisation des données de l'EPMA est en effet nécessaire pour certains éléments qui ne peuvent pas être détectés au micro-PIXE du fait de l'utilisation de filtres qui, dans le cas de la sphalérite, absorbent les rayonnements caractéristiques de Fe et Cu en faibles teneurs.

Pour l'analyse de Cd dont les concentrations sont comprises entre ~ 1000 ppm et 7000 ppm la différence relative entre les résultats de l'EPMA et du micro-PIXE n'excède pas 25 %. Cette même différence relative est obtenue également dans le cas de l'analyse de Ga (0,1 à 1 %) en présence d'une teneur en Cu variant de ~ 0,2 à ~ 2 % suivant les échantillons étudiés et créant ainsi un fort effet de matrice pour Ga Kα. Un tel écart est acceptable compte tenu du nombre restreint de données obtenu avec le micro-PIXE (20 minutes d'acquisition par région analysée) comparé au nombre de mesures effectuées à la microsonde électronique.

Les comparaisons effectuées ont démontré la validité des modèles de traitement des données expérimentales et la concordance des résultats obtenus tant avec l'EPMA qu'avec le micro-PIXE, pour des niveaux de concentrations compris entre quelques centaines et quelques milliers de ppm. De plus, quelques éléments, tels que Se et In ont été analysés à l'aide du micro-PIXE mais n'ont pas été décelés avec l'EPMA. Cette étude comparative a illustré la complémentarité des deux techniques pour la localisation des éléments à l'état de traces dans les sulfures.

RS 2125

Analyse des anions de l'eau par chromatographie ionique

Water anion analysis by ionic chromatography

M. BORSIER
C. SARCIA

PRINCIPE

Une résine échangeuse constituée de styrène et divinylbenzène sur laquelle sont attachés des anions quaternaires est placée dans une colonne sous forme de billes de 15 µ.

Les billes sont activées en surface et la résine a une très faible capacité (0,02 meq/g) permettant de travailler en basse teneur.

L'éluant ($NaHCO_3$, Na_2CO_3) transporte dans l'échangeur anionique l'échantillon d'eau à analyser. Chaque anion sera sélectivement retenu par la résine et n'en sortira qu'après un "temps de rétention" caractéristique de la colonne.

Les anions sont séparés et en sortie de colonne une mesure conductimétrique permet leur détection.

Néanmoins, la présence de l'éluant ionique donne un fond très élevé de conductivité, une colonne suppresseuse permet de supprimer cette conductivité par échange sur une colonne cationique (ions Na^+ échangés par H^+ donnant H_2CO_3). Très récemment introduit, le suppresseur à fibre permet d'exécuter la suppression et la régénération de façon simultanée et non interrompue.

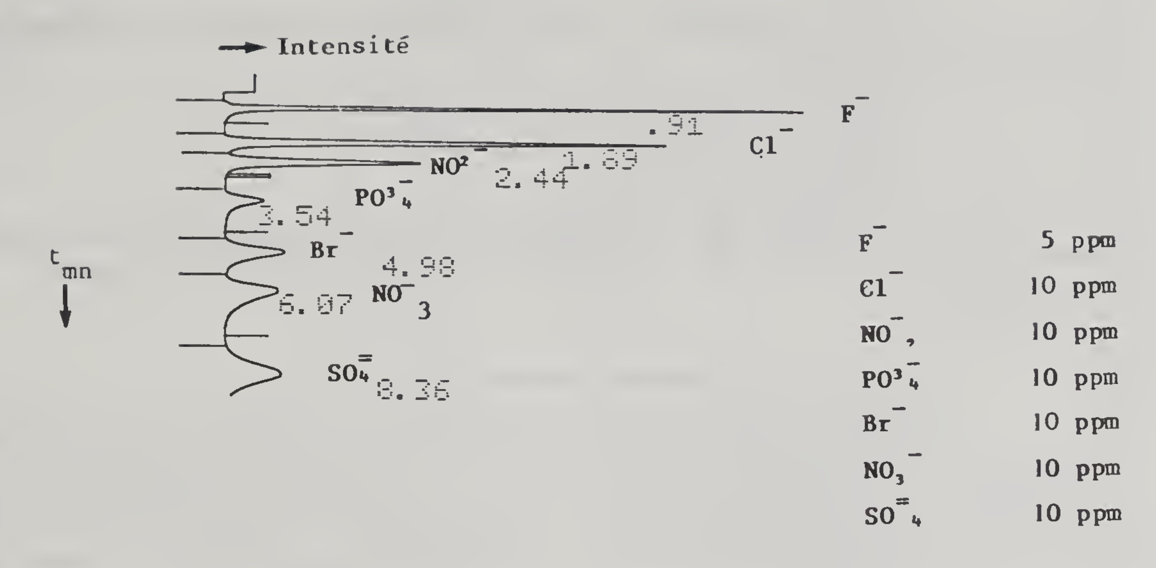
Cette diminution de conductivité permet une meilleure sensibilité et une moindre sensibilité aux conditions extérieures.

a) Résultats obtenus

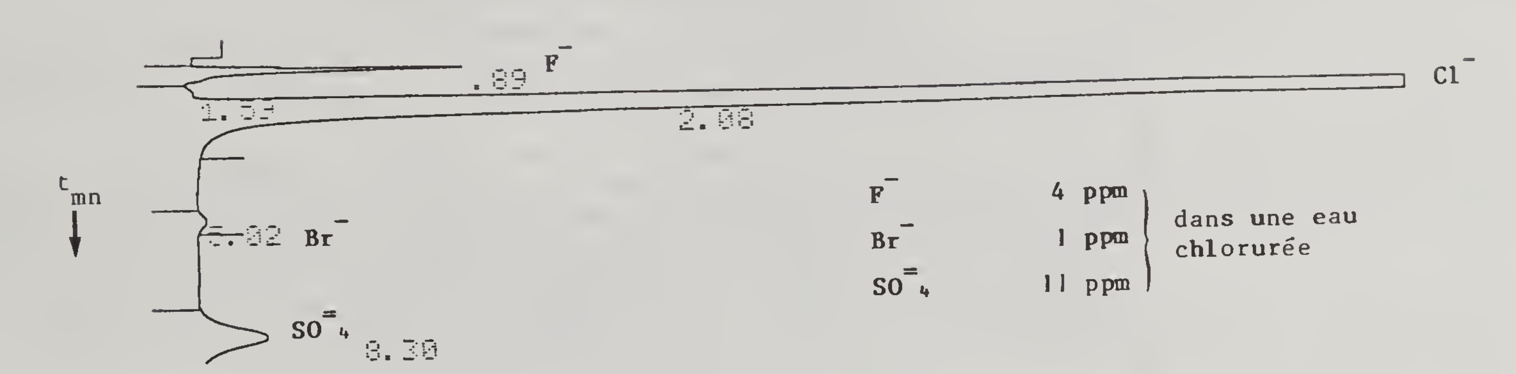
Sur les exemples ci-contre on peut constater :

- Une très bonne séparation des pics, même pour de fortes concentrations.
- La large gamme des concentrations analysées en particulier pour Cl^- (en utilisant une dilution) ce qui permet d'accéder finalement à l'analyse des eaux thermales et géothermales.

CHROMATOGRAMMES



STANDARD



EAU CHLORUREE

- La précision et la reproductibilité des mesures est fonction de la teneur des éléments :
  - . 3 - 5 % relatif pour une teneur de 10 ppm,
  - . 25 % pour une teneur de 0,1 ppm voisine de la limite de détection.

b) Limite de détection

A l'exception des NO_2^- elles sont égales voire inférieures à celles obtenues à partir des méthodes classiques.

On peut citer :

HPO_4^{2-}	0,1 ppm	NO_3^-	0,1 ppm
F^-	0,1 ppm	NO_2^-	0,1 ppm
$SO_4^{=}$	1 ppm	Cl^-	(valeurs toujours > à la limite de détection)

CONCLUSION

Le dosage simultané des anions dans une eau par la chromatographie ionique est une méthode efficace de mise en oeuvre simple et dont les performances sont tout à fait comparables à celles des techniques classiques monoéléments.

La gamme des déterminations permet d'autre part d'étendre à l'analyse d'autres espèces ($S_2O_3^-$ ou SCN^-) voire à des cations complexes par simples changements de colonne.

Les volumes nécessaires à l'analyse étant très faibles, l'analyse de solutions de percolation ou d'autres types identiques ne pose plus de problème.

RS 2126

Analyse des platinoïdes

Analysis of platinum group metals

M. BORSIER
A. BATEL
J. TOURNIER

Au cours de l'année 1985 le département Minéralogie Géochimie Analyses a mis au point une méthodologie d'analyse des platinoïdes avec une limite de détection de 10 ppb orientée sur l'analyse de minerais (sulfures et chromites).

Durant cette mise au point différents aspects du problème analytique ont été abordés :

- Représentation de l'échantillon.
- Récupération des platinoïdes.
- Mesure des teneurs.

Sur chacun de ces points une étude comparative des différentes méthodes a été réalisée pour dégager une méthode utilisable en routine.

METHODOLOGIE

a) Représentativité des échantillons

Pour satisfaire à la nécessité d'une représentativité des échantillons et en fonction de l'expérience acquise dans le domaine de l'or où l'hétérogénéité de l'échantillon peut apporter des variations importantes sur les résultats, et de l'échantillonnage pratiqué dans les laboratoires sud africains, on analysera de 20 à 100 g d'échantillon, suivant les teneurs et la nature des échantillons (minerais ou échantillons géochimiques).

b) Méthode de récupération des platinoïdes

Deux grandes catégories de méthodes sont utilisées, d'une part deux méthodes type "fire assay" (fusion plombeuse et matte de Ni) et d'autre part la mise en solution acide. Les trois méthodes ont été testées.

La fusion plombeuse permet une bonne récupération de certains platinoïdes (Pt, Rh, Pd) mais peut ne pas être satisfaisante pour l'ensemble. Les méthodes matte de Ni d'une part et attaque acide, suivie d'une précipitation au tellure d'autre part donnent des taux de récupération testée sur PTM 1 (CANMET, sulfures de Ni, Cu et platinoïdes) et SARM 7 (chromite sud-africaine) supérieurs à 90 % pour les platinoïdes (à l'exception de Os). Les niveaux de teneur dans les deux cas sont de l'ordre de quelques ppm de platinoïdes.

La méthode par attaque acide fournit des solutions plus aisément analysables (forte teneur en Ni résiduel dans la fusion) et sera donc retenue dans la plupart des cas.

Néanmoins, les deux méthodes matte de Ni et attaque acide peuvent se substituer l'une à l'autre pour des problèmes particuliers.

c) Mesure

L'absorption atomique avec four graphite est la méthode la plus sensible existante (à l'exception de Ir pour lequel l'activation neutronique donne un meilleur résultat).

Les solutions obtenues par précipitation au tellure ne posent pas de problèmes de dosage avec l'équipement AA PE 4000 + HG A 400 dont le four a une montée en température extrêmement rapide.

METHODOLOGIE UTILISEE POUR L'ANALYSE EN ROUTINE

- Analyse multiélémentaire rapide pour identification de la matrice.
- Attaque nitro-chloro-fluorhydrique pour la dissolution en routine. Utilisation d'une technique de frittage (Na_2O_2) des résidus.
- Précipitation des platinoïdes (sauf Os) au tellure. Récupération du précipité par filtration.
- Remise en solution du filtre.
- Analyse par absorption atomique, four graphite.

A l'issue de cette méthodologie le département est capable d'assurer l'analyse de cinq éléments du groupe des platinoïdes (Pt, Pd, Rh, Ru, Ir). La limite de détection actuelle de 10 ppb pourra être abaissée au voisinage du ppb en 1986 par l'adjonction avant mesure d'une méthode de préconcentration.

RS 2127

Méthode de dosage de Os, Ir, Ru, Pd, Pt, Au et Ag dans des matériaux géologiques variés par activation neutronique

Determination of Os, Ir, Ru, Pd, Pt, Au and Ag in various geological materials by neutron activation analysis

A. COCHERIE*
M. VOLFINGER*
G. MEYER**

Action concertée C.E.E. : MSM 023 F.

Nous avons mis au point une procédure d'analyse des éléments de la mine du platine (E.M.P.) en cherchant à réaliser un compromis entre les impératifs suivants : a - D'un point de vue géochimique on distingue deux groupes principaux (Os, Ir, Ru et Pd, Pt, Au avec Rh intermédiaire) ; par conséquent au moins deux éléments de chacun de ces deux groupes doivent être dosés. b - Nous avons choisi d'utiliser l'activation neutronique en raison de la grande sensibilité de cette méthode physique d'analyse qui permet de travailler sur les faibles quantités de matériel disponible lors d'études sur minéraux séparés. c - Enfin, la méthode de concentration chimique doit être simple à mettre en oeuvre et rapide. La technique d'irradiation avant les séparations a été choisie pour s'affranchir des problèmes de pollution mais ceci nous interdit le dosage de Rh qui possède une période très courte (quelques minutes). Lors de la mise au point toutes les étapes de séparation ont été testées grâce à des traceurs radioactifs.

Quelle que soit la composition du matériel à analyser on effectue une analyse non destructive, sur 200 mg de poudre, par activation neutronique, pour déterminer les teneurs en Cr, Co, Ni, Zn, Fe ainsi que Au et Ir. C'est de cette façon que le dosage de Ir est effectué avec une limite de détection de 0,5 ppb ; deux prises de 200 mg sont nécessaires pour s'assurer de la représentativité de la prise d'essai.

Dans un deuxième temps sur des séries de 6 échantillons de 500 mg on effectue une concentration de ces éléments après l'irradiation. Les échantillons analysés peuvent avoir des compositions très variées : silicates, oxydes (chromites) et sulfures, c'est pourquoi des procédures sensiblement différentes peuvent être retenues selon les cas, mais d'une manière générale le schéma est le suivant :
1. Attaque de l'échantillon par fusion alcaline dans un creuset de zirconium, ainsi la mise en solution est totale et sans perte d'E.M.P. (cette attaque est précédée d'une évaporation de SiO_2 par HF + HNO_3 dans le cas des silicates, mais lors du passage à sec Os est volatilisé).
2. Reprise à l'eau puis ajustement à pH 7 pour précipiter et ensuite séparer par centrifugation le précipité d'hydroxydes de la solution de chromates. Alors, dans les cas où Cr > 1 % on précipite $BaCr_2O_7$ après addition de $BaCl_2$ à pH 4-5.
3. A partir de la solution dépourvue de Cr et du précipité d'hydroxyde solubilisé dans HCl conc., on prépare une solution en milieu HCl 4M. A chaud on ajoute SeO_2, TeO_2 et l'entraineur Pd pour coprécipiter Pd, Pt, Au, Ag, Ru après réduction par $SnCl_2$.
Le dosage s'effectue en spectrométrie γ (géométrie de comptage extrêmement favorable) par simple comparaison avec des solutions standards irradiées simultanément.

Pour doser Os, dans les matrices pauvres en SiO_2, on effectue une troisième irradiation d'une série de 6 échantillons (500 mg) qui permet également le dosage de Ru dans les meilleures conditions. Après la fusion alcaline et la séparation hydroxydes/chromates, qui contiennent respectivement 98 % de Ru et 90 % de Os, on suit deux schémas de séparation : - Précipitation de $BaCr_2O_7$ de la solution de chromates contenant Os, puis fixation à pH 1,5 de Os sur une résine et comptage γ de la résine. - Mise en solution des hydroxydes dans HCl 4M puis coprécipitation de Ru avec Se, Te et comptage γ .

Les taux d'extraction sont les suivants : Pd, Pt, Au = 99 % ; Ag = 95 % ; Ru = 50 - 80 % ; Os 60 - 80 %. Le taux d'extraction de Ir sur Se et Te est très faible. Les rendements variables de Ru et Os sont systématiquement mesurés grâce à des isotopes radioactifs obtenus par activation protonique. Les limites de détection en ppb sont les suivants : Au = 0,1 ; Ir = 0,5 ; Pd et Pt = 2 ; Os = 3 ; Ag = 5 ; Ru = 20.

REFERENCES :

COCHERIE A., VOLFINGER M. et MEYER G. (1986) - Détermination of the noble metals in chromites and other geological materials by radiochemical neutron activation analysis. Modern Trends in Activation Analysis, Copenhague June 23-27, 10 p.

* GIS (CNRS-BRGM) 1A, rue de la Férollerie, 45071 ORLEANS CEDEX 02
** Laboratoire P. Süe, CEN SACLAY, B.P. n° 2, 91190 GIF SUR YVETTE.

2 - Analyse in situ

RS 2128

Diagraphie du phosphore, calcium et silicium par activation neutronique du sondage SC 1 de Ribemont-sur-Ancre (Somme)

Borehole logging of phosphorus, calcium and silicon by neutron activation at Ribemont-sur-Ancre, Somme Dept., France

J.L. PINAULT
J.Y. MOAL

Contrat CEE MSM 030 F (RS)

Dans le cadre d'un projet CEE, (BRGM - LCPC), nous avons réalisé un prototype de sonde à activation neutronique ; celui-ci nous a permis de doser "in situ", P_2O_5, SiO_2, CaO dans la craie phosphatée de Picardie.

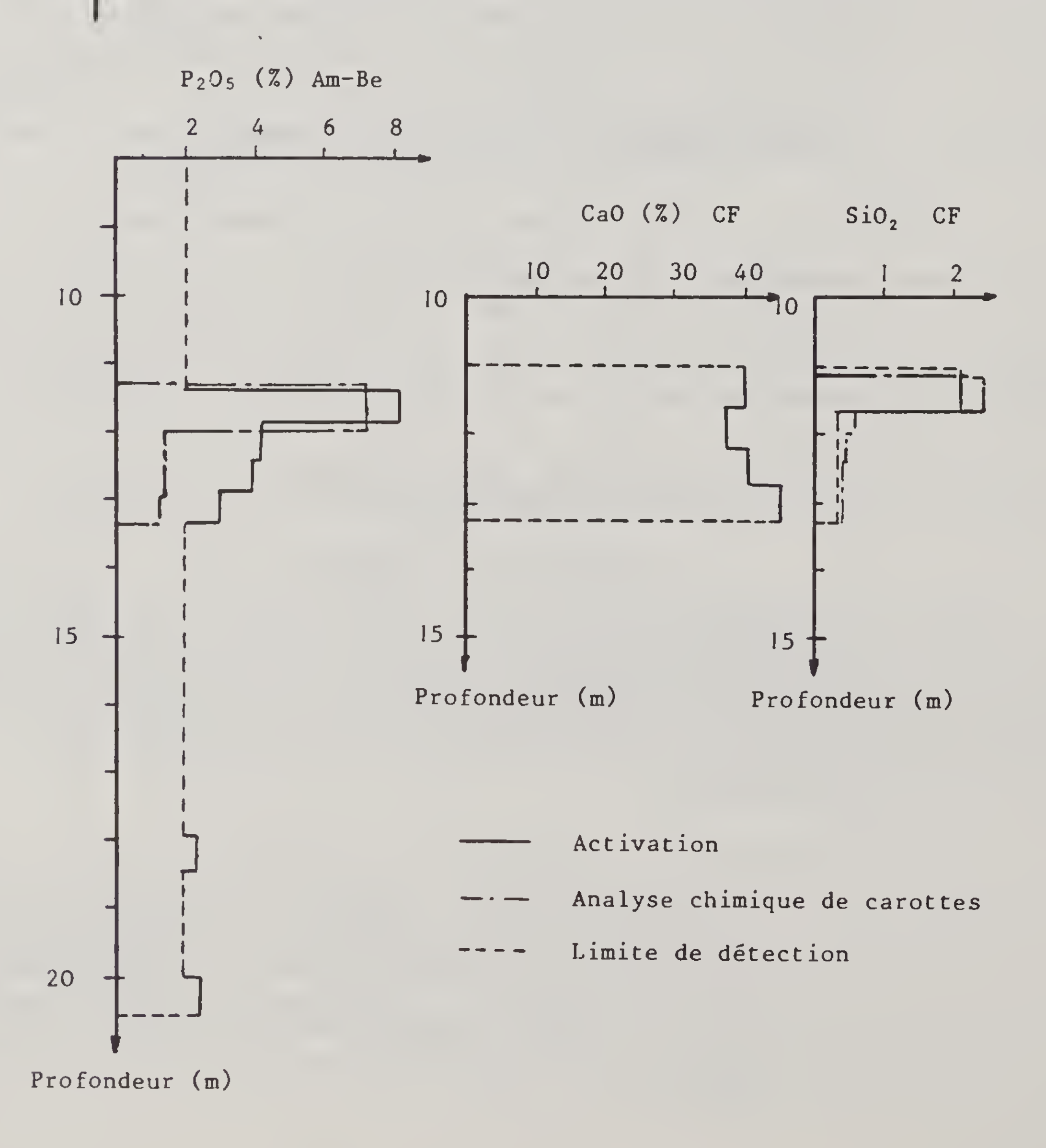
L'excitation est assurée soit à l'aide d'une source Am/Be de 1 Ci pour favoriser les réactions de diffusion inélastique (P), soit à l'aide d'une source de Cf de 2 mCi pour les réactions de capture radiative (Si, Ca).

Dans les deux cas, nous effectuons une spectrométrie gamma du rayonnement instantané à l'aide d'un scintillateur au germanate de bismuth (BGO).

Les signaux sont transmis de façon analogique et analysés en surface. Des programmes de déconvolution et de filtrage non linéaire permettent d'estimer l'intensité des rayonnements caractéristiques de chacun des éléments. Ceux-ci sont reliés aux concentrations par une loi complexe dont les coefficients sont établis lors d'une procédure de calibration dans des fûts de minerai (en particulier, cette loi peut faire intervenir l'action d'éléments ralentisseurs tels que l'hydrogène, à partir de leur rayonnement caractéristique).

La figure ci-jointe représente la diagraphie des trois éléments, le pas d'échantillonnage étant de 50 cm et la vitesse de remontée de la sonde étant fixée à 5 cm/minute. Les intercomparaisons avec les analyses de carottes sont relativement concordantes, vu que le volume exploré par l'activation est dix fois supérieur à celui de la carotte (pénétration de l'ordre de 25 cm).

Un second prototype de sonde de diamètre 82 mm a été construit à la fin de l'année : grâce à l'utilisation de blindages très efficaces, la source a pu être rapprochée du détecteur, ce qui a eu pour conséquence l'augmentation



de l'activité perçue par le détecteur. La vitesse de remontée de la sonde peut maintenant dépasser 10 cm/minute sans perte d'information.

Cet appareillage est destiné à être testé dans les sondages de perforation ou de préexploitation de mines de phosphates ou de bauxites (dosage de SiO_2 dans ce dernier cas).

REFERENCE :

PINAULT J.L., MOAL J.Y., JACQUIN J.P. - Diagraphie du phosphore, calcium et silicium par activation neutronique. Contrat CEE MSM 030 F (RS).

RS 2129

Dosage d'éléments en faible teneur (10 ppm) à l'aide de l'appareil "SYRANO"

Assaying low grade ores with "SYRANO"

J.L. PINAULT
J.Y. MOAL

L'appareil "SYRANO" présenté en 1984, a subi différentes améliorations qui lui permettent de détecter certains éléments au niveau de 10 ppm : Mo, Ag, Cd, Sn, Sb, La, Ce, Pr, Nd.

Ceci a été rendu possible grâce à :

- L'augmentation de l'activité de la source : Am^{241} de 100 mCi. De manière à assurer une sécurité totale de l'utilisation vis-à-vis des rayonnements, la géométrie de la tête de SYRANO 1 a été modifiée : un couvercle prévient toute fausse manoeuvre.

- L'amélioration de l'amplificateur. Le taux de comptage étant de l'ordre de 10 à 20 000 imp/sec, un système de restauration de la ligne de base garantit une grande stabilité du gain, nécessaire pour les opérations de déconvolution.

- Une meilleure définition des filtres numériques, ce qui a pour but d'abaisser les erreurs au niveau des estimations des aires des pics lorsque ceux-ci sont très rapprochés, (ex : dosage de Ag (10 ppm) en présence de Cd (0.1 %), la différence d'énergie entre les raies Kα de ces deux éléments étant de 1 KeV.

- L'augmentation de la surface du détecteur au silicium implanté (25 mm² au lieu de 10 mm²) sans dégradation importante de la résolution (1.5 KeV pour les raies Kα de l'agent).

Le temps de comptage étant de l'ordre de 10 min, nous avons opéré de nombreuses intercomparaisons avec l'analyse par absorption atomique, dont l'analyse de l'argent sur échantillons du Yémen : l'erreur relative est de 8.5% pour 150 ppm.

Dans sa version portable, et en ce qui concerne l'analyse d'éléments au niveau de quelques dizaines de ppm, cet appareil n'a, actuellement, aucun concurrent sur le marché.

Minéralogie descriptive et expérimentale

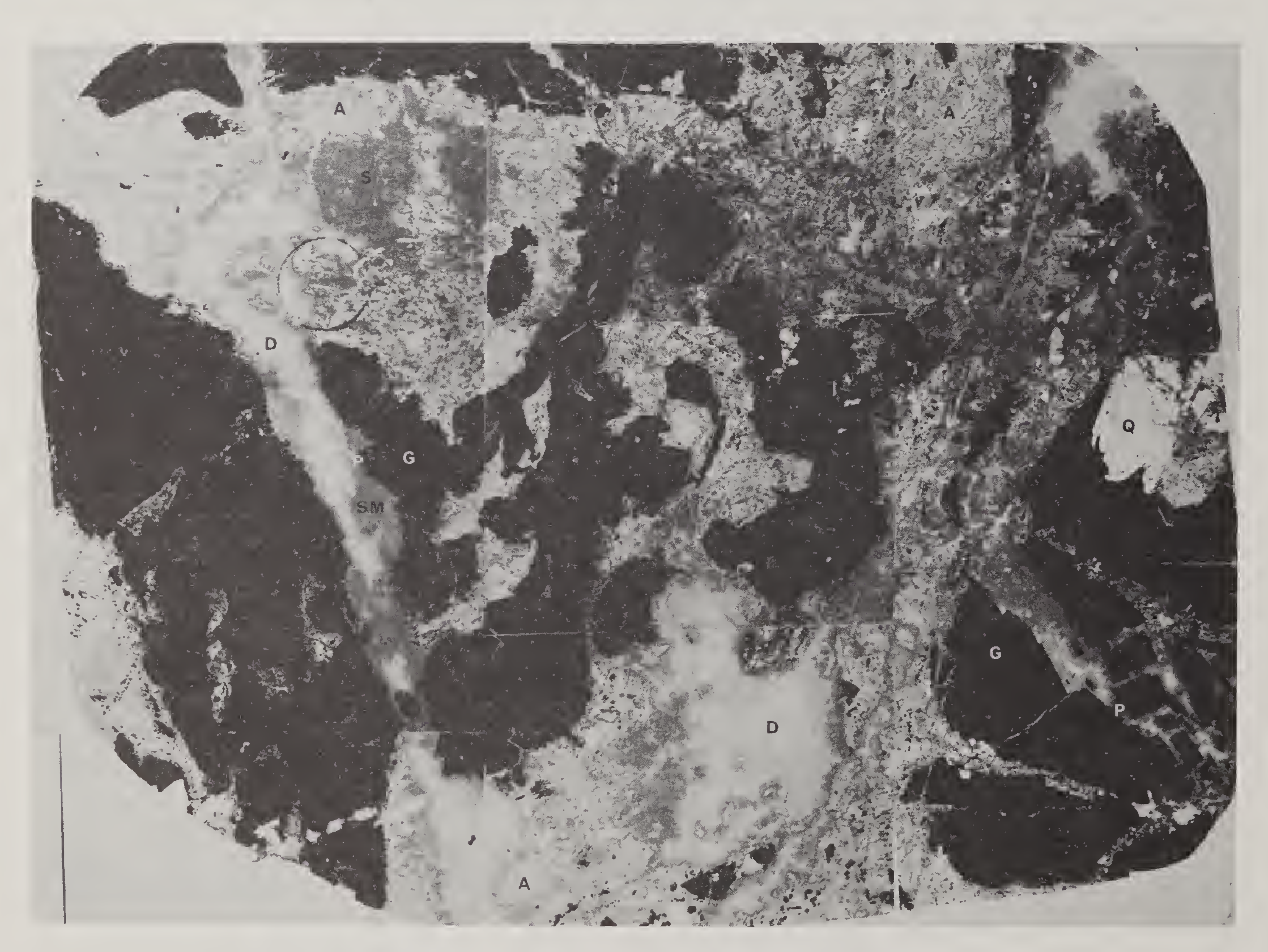
RS 2130

Utilisation du microscope électronique à balayage (électrons rétrodiffusés) dans la compréhension des gîtes filoniens à gangue carbonatée complexe

Deciphering the evolution of veins with complex carbonate gangue using the scanning electron microscope (backscattered electrons)

P. PICOT
J. BRETON
A.M. FOUILLAC
E. MARCOUX

Cette technique a été utilisée sur deux gîtes du district de Brioude-Massiac qui, à priori, paraissaient avoir une origine totalement distincte : le gîte de Fournial (situé à 12 km W de Massiac) et celui du Ceroux (district de Chazelles - 8 km SE de Massiac). La seule analogie réside dans la nature quartzo-carbonatée de la gangue. Dans le premier cas, il s'agit d'une minéralisation plombo-argentifère de type Freiberg, présentant des teneurs locales atteignant 6 kg/T d'Ag, avec, dans la partie N du gîte une influence granitique nette se matérialisant par la présence de cassitérite, stannite et minéraux de bismuth. Dans le second cas, on a affaire à un gîte antimonifère à berthiérite-stibine avec quelques sulfosels de Pb (jamesonite, zinkénite, fuloppite), de Cu (chalcostibite) et d'Ag (andorite). Dans un précédent résumé, nous avions supposé que le gîte de Fournial résultait d'une reprise par des solutions plombo-argentifères d'un stock antimonieux précoce.



Légende photo :

Echantillon FOURNIAL : Photo MEB rétrodiffusée, correspondant à l'ensemble de la section polie : grossissement 7.

S : sidérose (recristallisée). Q : quartz. A : ankérite. SM : sidérose magnésienne. D : dolomie ferrifère. G. galène. P : pyrargyrite.

L'étude des gangues au MEB a montré que :

- Dans le cas de Fournial, le dépôt avait débuté par une association sidérose - pyrrhotine - stibine, auquel avait succédé un dépôt de quartz avec cassitérite, mispickel, blende, chalcopyrite, stannite, suivi d'un dépôt d'ankerite avec galène riche en diaphorite et freibergite. Corrélativement, on avait bréchification et recristallisation de la sidérose précoce. Un rejeu de la structure entraînait une nouvelle fracturation des minéraux déposés, en particulier, de la galène qui était recoupée par un ultime dépôt à sidérose magnésienne et dolomie ferrifère, avec particulière abondance de minéraux argentifères (pyrargyrite, miargyrite, stéphanite, argyrodite).

- Dans le cas du Céroux, à la différence de Fournial ou la première phase a été en grande partie oblitérée par les venues tardives, celle-ci est bien représentée avec sidérose précoce abondante associée à de la berthiérite. Une phase quartzeuse à mispickel-blende recoupe la sidérose et la berthiérite qui est transformée en stibine en même temps qu'elle est remplacée par la blende. Une deuxième phase carbonatée à ankérite, analogue à celle de Fournial, apporte du plomb qui s'associe à l'antimoine de la stibine pour donner d'abord de la jamesonite puis de la zinkénite et de la füloppite. L'argent qui est véhiculé en même temps que le plomb par les solutions aboutit à la formation d'andorite (correspondant au dépôt de diaphorite de Fournial).

Isotopes du plomb - Dans les deux cas, de Fournial et du Céroux, on constate que le plomb a des compositions isotopiques identiques. Il s'agit de plomb du socle (probablement des orthogneiss) avec des rapports $^{206}Pb/^{204}Pb$ proches de 18,15.

Isotopes du carbone - Des prélèvements très fins effectués sur la plupart des phases carbonatées ont révélé, là encore, une grande analogie, avec en particulier, un enrichissement en carbone d'origine organique dans les premières phases (sidérose - ankérite) (C_{13}/PDB compris entre - 12 "Céroux" et - 15 "Fournial"). Cet enrichissement est concevable si l'on considère que les mesures d'âge sur phengite ont donné pour le filon de Fournial un âge post-houiller de 245 Ma permettant d'envisager l'influence de niveaux de charbon au cours du dépôt. Ceci est d'ailleurs confirmé par l'abondance du germanium à Fournial sous forme de blende germanifère et d'argyrodite Ag_8GeS_6.

En définitive, ces deux indices, en dépit de leurs paragenèses nettement distinctes correspondent à des phénomènes métallogéniques identiques mettant en oeuvre la reprise d'un stock antimonieux précoce par des solutions plombo-argentifères plus tardives.

Dans le cas du Céroux, la phase plombo-argentifère est simplement beaucoup plus discrète qu'à Fournial, ce qui apparaît d'ailleurs au niveau minéralogique où l'on constate l'absence de galène au Céroux et la présence d'un sulfosel Pb - Ag qui est l'andorite (Pb Ag Sb_3 S_6) nettement plus pauvre en Pb et Ag que la diaphorite ($Pb_2Ag_3Sb_3S_8$) de Fournial.

Le Céroux ne serait donc qu'un faciès avorté de Fournial, et, dans tous les cas, l'origine très précoce de l'antimoine est indubitable.

RS 2131

Minéralogie des indices à Zn, Pb, Ba, F du Paléozoïque et du Crétacé de la nappe de Gavarnie (Gèdre, Gavarnie, Cirque de Barroude, Hautes-Pyrénées)

Mineralogy of Zn-Pb-Ba-F occurrences in the paleozoic and cretaceous of the Gavarnie nappe (Gedre, Gavarnie, Cirque de Barroude, Hautes-Pyrénées Dept.)

C. MILITON
E. OUDIN

Une étude minéralogique (100 sections polies) des minéralisations de la Nappe de Gavarnie, a été réalisée au BRGM dans le cadre d'une thèse de l'Université d'Orléans et avec le concours de la Division sud-ouest du BRGM.

Les minéralisations de l'autochtone sont surtout représentées par des filons tardi- ou post-hercyniens à Zn, Pb, Ba, F, des enclaves carbonatées à scheelite intrudées par des granites, dans le socle métamorphique et migmatitique cambro-ordovicien et par des minéralisations disséminées en galène (chalcopyrite) dans le Cénomanien transgressif. Les minéralisations les plus importantes de l'autochtone sont stratiformes à Zn - Pb et Ba - F dans la barre calcaire emsienne.

La succession paragénétique observée dans les filons est la suivante : sidérite - hématite, ankérite, quartz, pyrite, chalcopyrite, blende,

galène, calcite, barytine, fluorine. On note également de la chlorite et des plagioclases. Comme dans l'ensemble des minéralisations à Zn - Pb de la zone axiale pyrénéenne, on retrouve des minéraux traces assez fréquents dans plus de la moitié des filons : Ni - Co (surtout sulfures), Sn (cassitérite, canfieldite observée pour la première fois dans les Pyrénées) et Ge - Ga (argutite : GeO_2, brunogéiérite : $GeFe_2O_4$, carboirite : $FeAl_2GeO_5(OH)_2$ et autres analogues germanifères et gallifères des silicates, magnétite à gallium) décrits par Johan et al., 1983).

Dans les minéralisations stratiformes, on observe (par ordre d'abondance), blende, pyrite, galène et chalcopyrite. Les minéraux en traces sont moins fréquents, ceux de Ni · Co étant absents. Le germanium s'exprime sous forme de sulfures (briartite, réniérite et un équivalent germanifère de la colusite). Il est intéressant de noter que l'étain s'exprime sous forme de köstérite (stannite riche en zinc) et que la briartite, caractérisée ici par des réflexions internes rouges, est également riche en zinc comme le montre les analyses à la microsonde électronique.

Filons et minéralisations stratiformes peuvent parfois contenir des sulfosels (tennantites argentifères, boulangerite rare). On retrouve dans ce secteur, les différences déjà observées dans les associations minérales entre les minéralisations encaissées dans l'Ordovicien et le Dévonien, à l'échelle de la Province (Oudin, 1982), en particulier pour les minéraux en traces de Ge - Ga, Ni - Co. En ce qui concerne les zonalités établies sur la carte, on se situe effectivement dans la zone à pyrite prédominante où les minéraux de Ni - Co sont quasiment absents. Ces derniers y sont pourtant observés dans les filons et sont sans doute à mettre en relation avec la présence d'un massif de roches ultrabasiques comme cela a d'ailleurs déjà été suggéré pour leur répartition à l'échelle de la province. Comme dans les districts d'Aire et d'Anglas et du Val de Bitet, l'observation des minéraux à Ge - Ga dans des filons tardi- ou post-hercyniens encaissés dans le Dévonien et ici dans l'Ordovicien, repose la question de leur origine métamorphique supposée (Oudin et al., soumis).

REFERENCE

MILITON C. - Etude des minéralisations de l'autochtone et de l'allochtone de la Nappe de Gavarnie (région de Gèdre - Gavarnie - Cirque de Barroude, Hautes-Pyrénées, France). Thèse de doctorat de l'Université d'Orléans (en préparation).

JOHAN Z., OUDIN E. et PICOT P., 1983 - Analogues germanifères et gallifères des silicates et oxydes dans les gisements de zinc des Pyrénées centrales, France ; argutite et carboirite, deux nouvelles espèces minérales. Tschermaks Min. Petr. Mitt., 31, pp. 97-119.

OUDIN E. avec la participation de SUREAU J.F. et de AHMADZADEH H., 1982 - Minéralogie des Pyrénées centrales. Rapport BRGM 81 SGN 767 GMX, annexe III.

OUDIN E., POUIT G. et TOLLON F. - Les minéraux en traces de Ni - Co, Sn, Ge - Ga, Pb - Sb, Ag et Au témoins de l'évolution de l'hydrothermalisme de l'Ordovicien au Dévonien inférieur dans les minéralisations zincifères des Pyrénées centrales (soumis au Bulletin de Minéralogie).

RS 2132

Un traceur des roches alcalines : le zircon octaédrique (101)

A pathfinder for alkaline rocks: octahedral zircon (101)

A. PARFENOFF

L'analyse minéralogique comparative de plusieurs centaines d'échantillons de zircons de diverses origines montre que les cristaux octaédriques (101) s'observent surtout, sinon uniquement, parmi les populations de zircons des roches alcalines. Un tel minéral peut donc être utilisé avec profit comme traceur en prospection minière ou comme guide minéralogique en pétrologie.

L'analyse qui a conduit à cette constatation met également en évidence la grande diversité des gisements possibles. Ce type de zircon peut en effet aussi bien être présent dans des roches plutoniques saturées à sursaturées en SiO_2 (syénites et granites alcalins) que dans des roches plutoniques sous-saturées (syénites néphéliniques et carbonatites) ; il peut encore être observé dans des roches plutoniques ultramafiques et dans des roches volcaniques acides ou basiques dont la caractéristique commune demeure cependant toujours une alcalinité prononcée.

L'interprétation de l'histoire génétique de ces zircons doit être étayée par l'étude de leurs propriétés typomorphes. On relève ainsi, par exemple, que l'apparition de la facette subordonnée (110) est notée essentiellement dans les formations sous-saturées en SiO_2 ; de même, la facette subordonnée (201) semble exister surtout parmi les zircons octaédriques (101) ayant cristallisé dans des milieux de formation alcalins, sous-saturés en SiO_2 et riches en alumine.

Mais toutes les autres caractéristiques du faciès du minéral, ainsi que ses propriétés physiques, peuvent aussi apporter des renseignements sur son histoire génétique et post-génétique ; on citera plus spécialement la limpidité et la couleur, la taille, l'existence ou l'absence d'une luminescence aux rayons ultra-violets et le degré de cristallinité.

L'analyse de la composition chimique contribue également à préciser la signification des zircons octaédriques (101). Un seul élément, à part le zirconium et le silicium, est cristallochimiquement sûr : le hafnium. La teneur en Hf varie suivant la nature du milieu de formation, mais évolue peu à l'échelle d'un gisement comparativement aux teneurs en éléments radioactifs ou en terres rares ; cela est démontré pour les zircons des phonolites de Bort-les-Orgues (Corrèze), pour ceux d'une syénite néphélinique des îles de Los (Guinée) et pour ceux d'une pegmatite d'un granite hyperalcalin d'Arabie Saoudite. Ces faibles variations de teneur restent comparables aussi bien au niveau des analyses portant sur des zircons isolés qu'au niveau des dosages ponctuels effectués à la microsonde électronique à l'intérieur des cristaux. L'analyse des autres composants chimiques reste toutefois aussi utilisable pour l'interprétation bien que ces derniers soient plus mobiles et plus sensibles aux perturbations post-génétiques. Il faut enfin souligner que la teneur en Hf ne dépend ni du degré de transformation métamicte, ni de l'origine géographique, ni de l'âge de la roche-mère.

Si l'on ajoute aux données qui viennent d'être présentées certaines qualités inhérentes aux zircons, telles que leur bonne résistance à l'abrasion mécanique et à la corrosion chimique, ainsi que leur forte densité, on voit que le zircon octaédrique (101) peut réellement être considéré comme un minéral traceur privilégié.

RS 2133

Inventaire minéralogique

Mineralogical inventory and its applications

R. PIERROT
C. LAFORET
P. PICOT
F. PILLARD
L. CHAURIS*
F. TOLLON**
P. MONCHOUX**
R. PULOU**
H. BARI***

Depuis sa création en 1971, l'inventaire minéralogique a permis de mieux connaître le potentiel métallique des gîtes de treize départements français, de trouver et de rechercher des minéraux traceurs, de retrouver des indices perdus à paragenèses souvent complexes ou à espèces rares à très rares, de découvrir de nouvelles espèces, permettant de définir parfois des lois de répartition utiles en prospection minière.

Après la parution au cours du 2e trimestre 1985, de l'inventaire minéralogique de l'Ille et Vilaine (F. Pillard et al.), l'année 1986 verra à la fin de ce premier semestre, l'édition du deuxième tome de l'Ariège (bassin versant de l'Ariège) (C. Laforêt et al.) et l'achèvement des études portant sur les nombreux indices du département de la Lozère.

La démarche scientifique permettant d'aboutir à l'ensemble de ces résultats se résume en :

1) *Etudes et travaux de terrain*, en étroite collaboration avec les trois facultés des sciences : Brest, Toulouse, Strasbourg et de l'Ecole des Mines d'Alès.

2) *Etudes de laboratoires* conduites par le service de minéralogie du BRGM (responsable de l'opération).

Méthodologie utilisée :
- Confection et étude de sections polies par microscopie métallographique à réflexion.
- Confection et étude de lames minces par microscopie à transmission.
- Etude des minéraux secondaires par diffraction X, microchimie et autres méthodes plus naturalistes.
- Utilisation du microscope électronique à balayage (MEB) et de la microsonde électronique (MSE).

La mise en forme définitive est assurée par le service minéralogie en étroite collaboration avec le service édition-ventes.

Intérêt de l'existence (et de la poursuite) de ces travaux
- Connaissance moderne de notre patrimoine minéralogique, les derniers travaux remontent à 1915 (Minéralogie de la France et de ses colonies, A. Lacroix).
- Synthèses métallogéniques à l'échelon régional.
- Guides de prospection en recherche minière et remise à jour des cartes linéamentaires pour certains métaux : Au, Bi, Sb, Ni.
- Etudes détaillées de nouvelles paragenèses, recélant parfois une ou des espèces nouvelles.

Quelques exemples de l'apport de l'inventaire minéralogique :

- Secteur alpin : cinq nouvelles espèces décrites.
- Secteur pyrénéen : deux nouvelles espèces décrites.
- Mise à jour de l'or alluvionnaire dans le département de l'Ariège.
- Découverte de Mac Fallite $Ca_2(Mn^{+3}, Al)_3(SiO_4)(Si_2O_7)(OH)$, monoclinique, en Ariège (2e occurrence mondiale).
- Recensement des indices à manganèse et fer, en Ariège.
- Recensement des ferrières d'Ille et Vilaine.
- Recensement des phosphatières du Lot et du Tarn et Garonne.

Enfin, la découverte de minéraux traceurs (tellurures d'Ag, Ni, de cassitérite dans les blendes, de minéraux de nickel, peut permettre de caractériser des types de gîtes particuliers (volcano-sédimentaire, départ acide, influence basique, etc... ou traduire une ambiance).

A la suite de la parution des monographies

- n° 1 - CANTAL (15) ; n° 2 - HAUTES-ALPES (05) ; n° 3 - FINISTERE (29) ; n° 4 - ALPES-MARITIMES (06) ; n° 5 - COTES-DU-NORD (22) ; n° 6 - TARN (81) ; n° 7 - AVEYRON (12) ; n° 8 - HAUTE-GARONNE (31) ; n° 9 - MORBIHAN (56) ; n° 10 - LOT et TARN-ET-GARONNE (46 et 82) ; n° 11 (tome 1), n° 12 (tome 2) - ARIEGE (09) ; n° 13 - ILLE ET VILAINE (35).

De nombreux travaux en ont découlé (nombreuses publications et en particulier la thèse de J. Mantienne sur la minéralisation thallifère de Jas Roux - Hautes-Alpes).

Notons enfin, l'utilisation de l'inventaire par la profession (minéralogistes professionnels et amateurs, gîtologues) pour lesquels l'inventaire minéralogique est une source de renseignements, en particulier en métallogénie-gîtologie.

Il faut également ne pas négliger le domaine public, source de diffusion non négligeable et l'apport de connaissances d'amateurs éclairés, contribuant à faire évoluer la minéralogie de la France en évolution perpétuelle.

*Université de Bretagne Occidentale - Faculté des Sciences - Département des Sciences de la Terre - Avenue Le Gorgeu - 29283 BREST cedex (France)

**Faculté Paul Sabatier - Laboratoire de Minéralogie, Géologie, 39, Allée Jules Guesdes - 31400 TOULOUSE (France)

***Université Louis Pasteur - Institut de Minéralogie - 1, rue Blessig - 67804 STRASBOURG

RS 2134

Etude expérimentale et théorique des spinelles $(Fe^{2+}, Mg)(Al, Fe^{3+})_2O_4$. Relations activité-composition, lacune de miscibilité, taux de lacunes

Experimental and theoretical study of $(Fe^{2+}, Mg)(Al, Fe^{3+})_2O_4$ spinels: activity-composition relationships, miscibility gaps, vacancy contents

J. LEHMANN*
J. ROUX*

Action concertée C.E.E. : MSM 023 F.

Des données d'équilibre entre solutions chlorurées $(Fe^{2+},Mg)Cl_2$ 1M et spinelles $(Fe^{2+},Mg)(Al,Fe^{3+})_2O_4$ ont été obtenues à 800°C, 4 kbars. La courbe d'échange "brute" (composition de la solution aqueuse en fonction de celle de la solution solide) est intermédiaire entre la courbe relative aux spinelles purement alumineux et celle relative aux spinelles purement ferrifères. Cependant la plupart des spinelles obtenus ont une faible teneur en fer ferrique et se situent très près du joint alumineux. Cette remarque autorise l'emploi d'une formule d'approximation, basée sur le caractère réciproque de la solution spinelle, qui permet de calculer la composition d'une solution aqueuse $(Fe^{2+},Mg)Cl_2$ en équilibre avec un spinelle purement alumineux à partir de celle d'une solution en équilibre avec un spinelle contenant une faible quantité de fer ferrique. On obtient ainsi une idée précise de la courbe d'échange relative aux spinelles $(Fe^{2+},Mg)Al_2O_4$. Cette courbe permet de construire

la courbe activité-composition du binaire $FeAl_2O_4$-$MgAl_2O_4$ et de constater qu'il présente un net écart positif à l'idéalité. Un modèle de solution solide, qui tient compte des équilibres homogènes dans la solution solide spinelle (Lehmann et Roux, 1984) permet de reproduire de façon satisfaisante cet écart.

Outre cet isotherme d'échange d'ions entre spinelles alumineux et solutions chlorurées, nos données fournissent des informations sur la lacune de miscibilité à l'intérieur du quadrilatère $(Fe^{2+},Mg)(Al,Fe^{3+})_2O_4$. Ces données, associées à celles de la littérature concernant le binaire $Fe(Al,Fe^{3+})_2O_4$, permettent d'ajuster le modèle qui rend compte simultanément des taux d'inversions connus aux pôles de la solution, des relations activité-composition sur des binaires frontières et de la lacune de miscibilité (extension et lignes de liaisons) dans le système Spinelle-Hercynite-Magnetite-Magnesioferrite.

Enfin, dans certaines expériences, la présence de sesquioxydes hématite-corindon a été détectée, ce qui peut faire craindre, pour les spinelles, un écart à la stoechiométrie. Une évaluation de cet écart est possible grâce à la généralisation du modèle de solution solide proposé au cas des solutions présentant des lacunes cationiques. Cette évaluation montre que les spinelles s'écartent peu de la stoechiométrie.

REFERENCES :

LEHMANN J. and ROUX J. (1984) - Calculations of activity-composition relations in multisite solid solutions : the example of AB_2O_4 spinels. Contrib. Mineral. Petrol., 87, 328-337.

LEHMANN J. and ROUX J. - Experimental and theoretical study of $(Fe^{2+},Mg)(Al,Fe^{3+})_2O_4$ spinels :activity-composition relationships, mixibility gaps and vacancy contents. (accepté pour publication dans Geochim. Cosmochim. Acta).

*CNRS-CRSCM, 1A, rue de la Férollerie 45071 ORLEANS Cedex 2

RS 2135

Textures microcristallines résultant d'une cristallisation rapide de pseudotachylite injectée dans une meta-anorthosite

Microcrystalline textures resulting from rapid crystallization in a pseudotachylite melt in a meta-anorthosite

J. MACAUDIERE*
W.L. BROWN**
D. OHNENSTETTER***

La méta-anorthosite de Harris (Ecosse) est recoupée par des veines de pseudotachylites. La nature intrusive de ces veines est attestée par leur géométrie et par leur structure interne. A l'intérieur des veines les clastes de plagioclases sont généralement concentrés vers le centre dû à l'effet Bagnold. Les veines peu épaisses de 5 microns à 5 mm, et fréquemment zonées, contiennent toujours des petits grains à fort relief (probablement des pyroxènes alumineux) et des magnétites dont la taille est de l'ordre du micron. Ces minéraux peuvent être répartis de façon uniforme ou concentrés localement délimitant ainsi des cellules polyédriques.

Dans certains filons les textures sphérulitiques apparaissent. La mésostase de la pseudotachylite n'est pas complètement isotrope mais est constituée d'une mosaïque de petits cristaux de plagioclase dont la taille décroît du centre vers l'éponte de la veine. Ces textures microcristallines ont été analysées au MEB et au MET et sont formées d'un arrangement régulier de cristaux polyédriques (0,2 à 1,5 µm) présentant peu de traces de déformation. Toutefois, la structure des plagioclases dans les pseudotachylites est plus désordonnée que celle des plagioclases de la roche hôte.

La composition des pseudotachylites varie peu de celle de la roche hôte. Ceci implique que l'homogénéisation du liquide d'où résultera la pseudotachylite a eu lieu. Dans les textures cellulaires une certaine différenciation peut être mise en évidence, le coeur des cellules ayant une composition différente des minéraux de la roche hôte. Cette différenciation est le résultat de la ségrégation des grains d'opaques et de pyroxènes vers la périphérie.

Les conditions génétiques de mise en place des pseudotachylites ont été dégagées. La fusion de la roche hôte et l'injection du liquide ont été suivies de peu par la cristallisation des microcristaux dans les veines. Les textures observées s'apparentent alors à celles provoquées par l'hyper-refroidissement des métaux et alliages fondus.

REFERENCE :

MACAUDIERE J., BROWN W.L., OHNENSTETTER D. (1985) - Microcrystalline textures resulting from rapid crystallization in a pseudotachylite melt in a meta-anorthosite. Contrib. Mineral. Petrol., 89, 39-51.

* Ecole Nationale Supérieure de Géologie BP 452 54001 Nancy Cedex
** C.R.P.G., BP 20 54501 Vandoeuvre les Nancy Cedex
+++ CRSCM GIS(BRGM-CNRS), 1A rue de la Férollerie, 45071 Orléans cedex 2

Recherches sur les techniques minéralurgiques

RS 2136

Etude de la concentration du phosphate grenu par flottation pelliculaire sur spirale

Study of the concentration of coarse phosphate by skin flotation using a spiral

G. BAUDET

Le procédé de séparation phosphate-silice par flottation pelliculaire sur spirale a fait l'objet d'une étude pour le compte de la Compagnie Sénégalaise des Phosphates de TAIBA. Elle a été conduite sur deux types de produits grenus de granularité : 99,7 % ; 98,8 % < 1,6 mm -50,72 % ; 65,8 % > 0,5 mm -86,8 % ; 94,83 % > 0,315 mm titrant : 31,65 ; 24,6 % P_2O_5 (69,15 ; 53,75 % TCP) et 14,85 ; 31,9 % SiO_2.

Le principal objectif était d'estimer le potentiel du procédé pour la concentration du phosphate grenu : -1,6 +0,3 mm dont la récupération par flottation anionique conventionnelle s'avère généralement faible, notamment avec des particules de dimension supérieure à 0,6 mm pour lesquelles les récupérations phosphate peuvent être inférieures à 60 %.

Des méthodologies, d'essais discontinus ne mettant en oeuvre qu'une quantité modérée d'environ 50 kg par essai, et d'essais continus à des débits solides de 500 à 1 400 kg/h, ont été mises au point.

Les essais discontinus ont permis de définir les influences des principales variables opératoires :

. concentrations en solides au conditionnement (CS.C) et à l'alimentation spirale (CS.A), temps de conditionnement (TC) et dosage des collecteurs (DC),
. débit de pulpe à l'alimentation spirale (QP), granularité de l'alimentation, mode de conditionnement : horizontal ou vertical (CH ou CV), type de spirale : Vickers ou Sala à pas de 400 et 350 mm, nature de l'huile non polaire associée au tall-oil utilisé comme collecteur du phosphate, rapport pondéral: tall-oil/diesel oil, relavage sur spirale du concentré obtenu sur spirale de dégrossissage, position des opercules de prélèvement de la spirale.

Les meilleurs concentrés titrent : 35,66 % ; 34,3 % P_2O_5 (77,9 ; 74,95 % TCP) -5,15 ; 7,3 % SiO_2 pour des rendements pondéraux et phosphate de respectivement : 85,49 ; 68,5 % et 96,51 ; 93,5 %. Les récupérations du phosphate par fraction granulométrique dans le concentré sont élevées par rapport aux récupérations correspondantes obtenues par flottation conventionnelle :

dimension mm		récupération phosphate %
+1,25		99,36
-1,25	+1	98,51
-1	+0,8	97,10
-0,8	+0,63	96,38
-0,63	+0,5	95,94
-0,5	+0,4	95,63
-0,4	+0,315	94,92
-0,315	+0,2	95,65
-0,2	+0,1	95,81
-0,1		97,57

le concentré titre 35,66 % P_2O_5 (77,9 % TCP) pour une récupération globale du phosphate de 96,5 %

Les essais continus ont permis de définir une configuration du circuit de traitement assurant un conditionnement homogène et l'absence de contraintes de cisaillement élevées qui dissocient les agglomérats phosphatés, les meilleurs concentrés titrent : 34,51 -34,87 ; 34,3 % P_2O_5 (75,4 -76,2 ; 74,95 % TCP) -5,94 ; 6,05 % SiO_2 pour des rendements pondéraux et phosphate de respectivement 86,51 -81,27 ; 62 % et 96,08 -91,25 ; 91,2 %.

Une attention particulière a été portée à la conception du conditionneur horizontal utilisé pour les essais continus, afin d'assurer un mélange transversal efficace, homogénéiser les temps de rétention des solides conditionnés, et régulariser leur débit de décharge.

Les distributions des temps de séjour des phases liquides et solides dans le conditionneur horizontal ont été déterminées par traceur soluble eau et traceur solide. Les résultats ont été interprétés à l'aide du modèle de m mélangeurs parfaits en série, dont les paramètres m : nombre de mélangeurs et t : temps de séjour moyen dans le conditionneur, ont été déterminés avec les valeurs suivantes :

	m	t(min)
liquide	14	4,90
solides	16	5,46

Les valeurs élevées de m et la forme des courbes F des temps de séjour cumulés indiquent que la dispersion axiale est faible et que le mélange transversal est important. Les courbes F caractéristiques d'un faible étalement reflètent une homogénéité satisfaisante des temps de rétention, de ce fait le conditionneur présente des caractéristiques géométriques et de fonctionnement favorables au processus d'agglomération.

RS 2137

Nouvelles méthodes de caractérisation du degré de libération des minéraux

New interpretations of one- and two-dimensional measurements for mineral liberation

Contrat CCE : MSM-021-F-RS

A. BROUSSAUD
C. GATEAU

Le degré de libération d'un minéral peut-être obtenu à partir de sections polies du minerai sur lesquelles, par analyse d'images, sont réalisées des mesures géométriques adaptées. Deux méthodes opérationnelles au BRGM (analyses mono et bidimensionnelles) fournissent ainsi des distributions de libération qui cependant sont biaisées puisqu'elles ne reflètent que l'information tronquée du plan ou de la ligne d'observation, et non la réalité tridimensionnelle.

Les travaux réalisés entre 1983 et 1985 dans le cadre d'un contrat CCE étaient destinés à sélectionner la méthode la mieux adaptée aux déterminations pratiques ; c'est ainsi que différents moyens complémentaires ont été mis en oeuvre, aussi bien à DAM/MIN qu'à DT/MGA : simulations, analyse théorique, analyse empirique et confrontation à des problèmes concrets.

Deux méthodes sont apparues comme particulièrement efficaces :

1) Analyse mixte mono et bidimensionnelle.

Soit un minerai constitué de deux phases A et B ; la réduction granulométrique va conduire à trois types de particules : libéré (A), libéré (B), mixtes (A - B). Soit PB la proportion (nombre) de particules réellement libérées de type B, PBL et PBS les valeurs correspondantes fournies respectivement par analyse mono et bidimensionnelles. Dans le cas général :

$$PBL > PBS > PB.$$

En faisant l'hypothèse de l'existence d'une relation simple entre les observations linéaires et surfaciques, il a pu être montré que :

$$PBL > PBS > (2\ PBS - PBL) > PB.$$

Ceci implique que lorsque l'on dispose à la fois de données d'analyse linéaire (PBL) et surfacique (PBS), la grandeur

$$P'B = 2\ PB - PBL$$

constitue un excellente estimation de PB, ce qui a été confirmé au cours des nombreuses simulations réalisées.

2) Analyse bidimensionnelle seule.

Plutôt que d'exprimer un résultat par un nombre de particules, il peut être intéressant d'utiliser la quantité de matière correspondante. Soit VB la fraction volumique de B libérée, on a toujours :

$$VBL > VBS > VB.$$

Si l'inégalité existe toujours, le biais est fortement réduit du fait que les particules B libérées ont à nombre égal une contribution plus importante que les mixtes à la masse totale de B.

Il a pu être montré qu'en supposant une distribution de mixité uniforme et sans particule libérée on observe quelle que soit la texture 25 % de l'aire de B comme apparemment libéré. D'où la loi empirique (résultats exprimés en pourcentage volumique par rapport à la phase B).

$$VB = 4/3\ VBS - 33\ \%\ (\text{si } VBS \geq 25\ \%)$$
$$VB = 0\quad (\text{si } VBS \leq 25\ \%)$$

La vérification de la validité des deux approches proposées est difficile en raison de l'absence de tout matériau de référence. Cependant il a pu être constaté lors de l'étude d'un minerai sulfuré complexe que ces méthodes conduisaient à des résultats rigoureusement identiques ; compte tenu de la totale indépendance des deux démarches cette convergence contribue à conforter les hypothèses.

REFERENCE

"New approaches to the interpretation of one dimensionnal and two dimensional measurements of mineral liberation". IV European Symposium for Stereology - Göteborg - August 1985 - (à paraître).

RS 2138

La simulation, outil opérationnel pour la conception et l'optimisation des usines minéralurgiques

Simulation, an operational tool for mineral processing plant design and optimisation

A. BROUSSAUD

Les recherches conduites depuis plusieurs années ont permis au B.R.G.M. de faire de la simulation statique en minéralurgie physique un outil opérationnel pour la conception et l'optimisation des procédés de traitement des minerais.

Les simulations statiques reposent sur l'utilisation des modèles de simulation pour chaque opération unitaire. L'orientation des recherches au B.R.G.M. ne consiste pas à développer de nouveaux concepts fondamentaux au niveau des modèles de connaissance, mais à exploiter les concepts générés par la recherche fondamentale au cours des vingt dernières années, pour en dégager des modèles opérationnels, utilisables en pratique. En particulier les modèles élaborés au B.R.G.M. se distinguent par leur aptitude à prendre en compte les paramètres les plus significatifs pour le praticien (géométrie des appareils, réglages opératoires, grandeurs diverses mesurables), et pour le procédé lui-même (sélectivité du broyage, prédiction de la libération minérale). Il s'agit toujours de modèles dont la forme générale est déterminée par des approches théoriques, mais dont les coefficients sont d'origine empirique.

Une étude typique de simulation comportera d'abord une phase de recueil de données expérimentales, en laboratoire, en usine pilote, ou en usine industrielle de production. Ces données consistent pratiquement en des mesures de débit, de composition granulométrique et minéralogique, de concentration solide et en mesures de certains paramètres opératoires (réglages).

Une première analyse du problème permet à ce stade de choisir les composants (minéraux et tranches granulométriques) qui doivent être suivis dans l'ensemble du procédé.

L'utilisation d'une chaîne de logiciels adéquats permet ensuite d'homogénéiser les données expérimentales, de sélectionner des modèles pour représenter chacune des opérations unitaires et de paramétrer ces modèles pour qu'ils s'adaptent au mieux au cas traité.

La juxtaposition de ces modèles dans un logiciel de simulation permet de simuler différentes configurations d'usines, c'est-à-dire de prévoir pour différents flowsheets, différentes dimensions d'appareils, différents réglages, les flux de matière en quantité et en qualité (composition minéralogique et granulométrique) en tous points de l'usine.

L'outil ainsi élaboré est utilisable pour l'optimisation d'une unité existante, ou pour la conception d'une nouvelle usine.

L'année 1985, a été caractérisée par l'achèvement d'un programme bénéficiant de l'aide de la Commission des Communautés Européennes (contrat MSM-021-F). Ce contrat a permis de réussir une première opération de simulation et d'optimisation de flowsheet avec la Société Barytine de Chaillac, qui a mis en évidence une amélioration possible du rendement de l'ordre de 5 %, et a donné lieu à une publication au congrès international de Minéralurgie à Cannes en juin 1985 (1). Cette première opération a permis de réaliser en 1985 plusieurs opérations sur des bases strictement contractuelles, pour la conception d'usines neuves, comme pour l'amélioration d'usines anciennes.

Les recherches sur l'élaboration et l'évaluation de nouveaux modèles ont conduit notamment en 1986 à une maîtrise de la modélisation des broyeurs à barres (2) et des cribles. L'ensemble des recherches en simulation bénéficie de coopérations stimulantes avec d'autres équipes de niveau international (Canada, Afrique du Sud, Australie, Belgique).

REFERENCES

(1) BROUSSAUD A., BRACHET C., FOURNIGUET G., AUDOLI H., LAPLACE G.
Prédiction par simulation de l'influence de modifications de flowsheet sur les performances de l'usine de flottation de barytine de Chaillac.
XVth IMPC, Cannes, France, 2-9 juin 1985, tome III, pp. 49-61, (1985).

(2) BROUSSAUD A., ALBERA F.
Selection of a model for the B.R.G.M. pilot plant rod mill.
Vth IFAC, Symposium on Automation in Mining, Mineral and Metal Processing, Tokyo, Japon, 1986.

Index auteurs

Index géographique

C. LISTE DES RAPPORTS D'ETUDE

Les différentes unités du BRGM ont rédigé plus de 1 000 rapports en 1985. Ces rapports correspondent globalement à des études réalisées dans le cadre de recherches scientifiques, à des mises au point techniques ou à des résultats de contrats passés avec des tiers publics ou privés.

N.B. : Cette liste ne contient que 184 rapports sélectionnés comme étant représentatifs de l'activité et des résultats 1985. En sont bien sûr exclus les rapports confidentiels.

Les références sont classées par thème, puis par ordre alphabétique du sigle des unités du BRGM, représenté par les caractères en gras du numéro du rapport.

Des listes thématiques ou géographiques des rapports publics, sont disponibles sur demande au Département documentation et information géologiques du BRGM à Orléans.

Les listes par région administrative sont consultables dans les différents services géologiques régionaux dont les adresses sont données en fin de volume

GÉOLOGIE GÉNÉRALE ET RÉGIONALE

85.SGN.052.**DIG**
LEPRETRE J.P. - Eléments statistiques sur la documentation factuelle et bibliographique disponible dans les SGR et au département documentation et informatique géologique. 1985, 12 p.

85.SGN.017.**GEO**
JOHAN V., SIMEON Y. - Contexte géologique et pétrographique des roches charnockitiques archéennes associées aux formations ferrifères (région de Mitzic, Gabon). 1985, 62 p.

85.SGN.131.**GEO**
LEMIERE B., ALBERT J.F. - Etude sur la fabrication de cartes lithologiques et géomorphologiques destinées à la caractérisation des terroirs viticoles. 1985, 12 p.

84.SGN.383.**GPH**
DEBEGLIA N., MENNECHET C. - GPF 2 : thème 10 géothermalisme actuel : Cézallier - Etude gravimétrique. 1984, 14 p.

85.DT.003.**GPH**
DEBEGLIA N., VIDAL O. - Programme géologie profonde de la France - thème 10 - Géothermalisme actuel (Cezallier) synthèse des travaux gravimétriques réalisés sur le site du Cezallier dans le cadre de GPF 2 - 1984. 1985, 18 p.

85.DT.017.**GPH**
STRAUB A. - Géologie profonde de la France - thème 8 -Résultats complets des diagraphies à Echassières (Allier) GPF 8/1. 1985, 21 p.

85.SGN.018.**GPH**
PERRIN J., RAVATIN F. - Etude du granite d'Echassières (Allier) par un profil de sondages magnéto-telluriques. Note de synthèse. 1985, 8 p.

85.SGN.103.**IRG**
FABRIOL H. - Géologie profonde de la France - GPF 2 -Synthèse des campagnes de prospection magnéto-tellurique réalisées dans le Cézallier (1983-1984). 1985, 28 p.

85.SGN.183.**GEO**
LEDRU P., GROS Y. - Dynamique de mise en place des plutons et des minéralisations associées : exemple de l'Apex granodioritique de Salau (Pyrénées ariégeoises). 1985, 30 p.

85.SGN.028.**GIS**
OHNENSTETTER M. - Les gisements de chromitites du sud de l'Oman, classification structurale et pétrographique. 1985, 36 p.

85.DAM.037.**GMX**
POUIT G. - Les minéralisations Zn (Pb) Ba du paléozoïque des Pyrénées centrales : une mise au point et un compte rendu des missions 1984. 1985, 36 p.

85.DAM.057.**GMX**
MILESI J.P., SYLVAIN J.P., HENRY B., HEINRY C. - L'or dans le Birrimien et dans ses confins archéens en Afrique de l'ouest - Eléments de gîtologie : types de gîtes et contrôle des minéralisations. 1985, 227 p.

85.CMR.070.**GMX**
GUILLOUX L. - Centre nord Cameroun, projet d'inventaire minier. Synthèse et interprétation des travaux effectués, objectifs de prospection. 1985, 66 p.

84.SGN.326.**MGA**
KANG J.K., KOSAKEVITCH A. - Etude texturale des encroûtements ferro- manganésifères de l'est Caraïbe. 1984, 73 p.

85.RDM.023.**PA**
FELENC J., ALJI M., BELLOT A., FOURNIER M., HMEURRAS M., JIDORI S. - Découverte d'un amas sulfuré caché à pyrrhotine et métaux de base à Hajar (massif des Guemassa, Maroc). 1985. 13 p.

85.RDM.031.**PA**
FOURNIER M., FELENC. J., HMEURAS M. - Etude géologique, géochimique et géophysique des minéralisations du Douar Frizem (Massif des Guemassa, Maroc). 1985, 43 p.

Gîtes de couverture

85.TGO.015.**GEO**
SLANSKY M. - La formation phosphatée de Bassar (République Togolaise) - Résultats de la mission d'identification de juillet 1985. 1985. 17 p.

85.SGN.323.**GEO**
LAVILLE P., ROBELIN C., CASTAING C. - Etude des formations bauxitiques de la Nurra (Sardaigne). 1985, 57 p.

85.SGN.530.**GEO**
BONIJOLY D. - Etude structurale de la bordure occidentale du horst de Pallières (30). Caractérisation du contexte structural des minéralisations à Fe-Pb-Zn. 1985, 30 p.

85.DAM.043.**GMX**
ORGEVAL J.J., SAHLI R., LAGNY P., MONTHEL J. - Coopération DNM-BRGM - Le gisement Pb-Zn de Bou Grine (Atlas tunisien) : synthèse géologique. 1985, 142 p.

Matériaux

84.AGI.328.**AQI**
DOBREDILH J., CAPDEVILLE J.P., KARNAY G., PLATEL J.P. - Prospection générale des Landes de Gascogne 2e année : 1983-1984 - Feuille de Mimizan et Bazas ouest à 1/100 000. 1984. 17 p.

85.SGN.452.**AQI**
BOTH J., FAMECHON C., GUERIN P., SAUVESTRE M. - C.G.T.P.G., UNICEM, bilan technique et technico-économique des granulats en Aquitaine. 1985, vol. 6, 177 p.

85.SGN.013.**GEO**
LE BERRE P. - Inventaire du territoire métropolitain. Recherche de gisements de vermiculite. Etude gîtologique des indices de la région de Prayssac, près de Decazeville (Aveyron). 1985, 58 p.

85.SGN.041.**GEO**
LE NINDRE Y.M. - Guide sédimentologique pour la recherche de diatomites dans le Grand Nafud (Royaume d'Arabie Saoudite). 1985, 27 p.

85.SGN.114.**GEO**
COLLECTIF - Inventaire minier du territoire métropolitain. Convention Ministère de l'Industrie -B.R.G.M. rapport d'exercice 1984 - Opérations matériaux de carrière. 1985, 23 p.

85.SGN.519.**LIM**
CONSTANS J., DELBOS R., FARIGOULE C., GREFFIER G., GUERIN P. - Etude du contexte des granulats en Haute-Vienne et inventaire des sables anciens des plateaux de la partie occidentale du département. 1985, 115 p.

85.SGN.424.**MAR**
LALLIER S. - G.I.E. Graves de mer. Recherche de graves au large de Dieppe - Prospection par sismique réflexion continue. 1985. 4 p.

85.SGN.425.**MAR**
DUMAS A. - GIE Graves de mer - Recherche de graves au large de Dieppe - Première campagne de prélèvements à l'aide de l'électro-carottier BRGM. 1985, 5 p.

85.SGN.405.**MPY**
ASTRUC J.G., GALHARAGUE J. - Recherches d'indices d'argiles fibreuses (attapulgites et sépiolites) dans la région Midi-Pyrénées. 1985, 9 p.

85.AGI.044.**PAC**
DAMIANI L., GRAVOST M., SIONNEAU J.M., DUROZOY G. - Schéma des possibilités d'exploitation de granulats dans le département des Alpes de Haute-Provence. 1985, 84 p.

85.SGN.100.**PIC**
BELPAUME D., LE BERRE P., GRES M., MOURON R. - Projet "Vallée de la céramique" - Inventaire des gisements d'argile du pays de Bray (60) - Phase A : Etude de "l'existant". 1985. 36 p.

AMÉNAGEMENT

Eau

85.SGN.328.**EAU**
ROUSSEL P. - Mission de service public "eaux souterraines" - Synthèse des travaux effectués en 1984. 1985, 109 p.

85.SGN.610.**EAU**
COLLECTIF - L'hydrogéologie au service de l'homme. Communications présentées par le BRGM au 18ème congrès et à l'assemblée générale de l'Association internationale des hydrogéologues, 8 au 13 septembre 1985 - Cambridge (U.K.). 1985, 48 p.

1. Evaluation des ressources Hydrogéologie régionale

85.**AGE**.003
COLLECTIF. - Republic of Botswana. Hydrogeological survey of Kanye and Molepolole areas - Structural study. 1985, 32 p.

85.**AGE**.017.
ZUNINU C. - Programme d'hydraulique villageoise du Conseil de l'entente - Rapport final de la 1ère phase au Niger. 1985, vol. 2, 89 p.

84.**AGE**.041
COLLECTIF - Maun water supply hydrogeological survey interim report vol. 1 report. 1984, 58 p.

84.AGI.267.**AQI**
TEISSIER J.L. - Ville de Dax, Régie municipale des eaux et de l'assainissement - Inventaire bibliographique des publications traitant de la géologie, de l'hydrogéologie et de l'hydrogéochimie ; exploitation partielle des données bibliographiques ; essai de synthèse géologique : recherche de nouvelles ressources. 1984, 44 p.

85.SGN.266.**BOU**
BILLARD G., CORNET J., TOUBIN J. - Etude hydrogéologique et structurale des milieux calcaires des bassins du Serein et de l'Armancon (89). 1985, 16 p.

84.SGN.232.**EAU**
BARGEAS A. - Evaluation globale de la ressource en eau de l'île de la Réunion - Apports de la simulation par modèles hydrologiques. 1984, 384 p.

84.SGN.267.**EAU**
AFRODISIS S., POINTET T., SOUETRE J.C., ZOMENIS S. -Technical cooperation - Water-balance in the upper basin of the Platania River (Troodos Massif). 1984, 37 p.

84.SGN.298.**EAU**
EL. KHABOTE, NORMAND M., ZERYOUHI, ROCHE P.A., THIERY D. - Royaume du Maroc, direction de la recherche et de la planification des eaux. Etude hydrogéologique de deux bassins versants marocains par un modèle global. 1984, 46 p.

84.SGN.309.**EAU**
BARRAT J.M., PUYOO S. - Analyse hydrogéologique par méthodes statistiques de la campagne de 1000 forages au Niger. 1984, 62 p.

84.SGN.357.**EAU**
MARGAT J., DASSIBAT C., MATHERON J.P. - Comptes des eaux continentales (quantité). Essai d'application à un groupe de bassins de Basse-Normandie (14). 1985, 225 p.

2. Aménagement et gestion des ressources

85.**AGE**.016
LE GAO H. - Construction de 50 puits villageois et pastoraux dans le département de Diffa - Niger - Etude de faisabilité. 1985, vol. 2, 234 p.

84.AGI.397.**ALS**
KREBS G. - Etude de la nappe phréatique dans le département du Haut-Rhin - Actualisation du modèle hydrodynamique du secteur Thur-III (Ochsenfeld - bassin potassique) Rapport final. 1984, 21 p.

85.SGN.241.**ALS**
VANCON J.P. - Actualisation et amélioration du modèle hydrodynamique régional de gestion de la nappe phréatique de la plaine du Rhin. 1985, 6 p.

85.**DCG**.001
GOUZES R., LEGOUPIL J.C., LE LANDAIS F. - BRGM - CIRAD - GERSAR. Groundwater and rural development in Sub-Saharan Africa. 1985, 68 p.

85.SGN.478.**EAU**
CROCHET P., LEBLANC P. - Site expérimental de Broualan (Ille-et-Vilaine) - Interprétation de la première phase de pompages d'essai. 1985, vol. 2, 281 p.

85.SGN.205.**HNO**
HOLE J.P., JAUFFRET D. - Etude de faisabilité de l'exploitation et du transfert des eaux de sources des vallées de l'Eure et de l'Iton. 1985, 48 p.

85.SGN.486.**HNO**
EBERENTZ P., TREMENBERT J. - Ville de Veules-les-Roses (76) - D.D.E. Subdivision mixte de Saint-Valery-en-Caux. Substitution des ressources en eau potable. Réalisation d'un forage et pompage d'essai sur un site non vulnérable aux pollutions de surface et supposé à l'abri d'une communication karstique avec la vallée contaminée. Compte-rendu et interprétation. 1985, 11 p.

84.AGI.083.**LRO**
VANDENBEUSCH M., MARCHAL J.P. - Elaboration d'un modèle mathématique des nappes de la Salanque et des plaines du Roussillon et premières applications. 1985, 34 p.

84.AGI.391.**LRO**
BERARD P., SAUTY J.P., VANDENBEUSCH M. - Modèle de gestion de la nappe alluviale de Marcoule -Détermination des paramètres de transferts en aquifère. 1984, 49 p.

85.SGN.362.**MPY**
SOULE J.C., TERNET Y., IUNDT F. - "Etude subventionnée par le conseil régional Midi-Pyrénées" - Mairie de Capvern (65) - Thermes du Bouride - Forage de reconnaissance pour un recaptage de la source du Bouride. 1985, 16 p.

85.SGN.541.MPY
SOULE J.C., COLLIN J.M., IUNDT F., NARTET M., SAHUQUE J.L., TERNET Y. - Régie municipale des eaux thermales de Bagnères-de-Bigorre (65) thermes de Salut - Etude hydrogéologique en vue d'un recaptage des eaux. 1985, 37 p.

84.AGI.387.NPC
POITRINAL D., BECKELYNCK J. - S.L.E.E. - A.E.A.P. Modèle mathématique de la nappe de la craie dans les bassins de l'Aa et de la moyenne Lys -2ème phase, calage en régime permanent. 1984, 14 p.

85.SGN.394.NPC
BECKELYNCK J., JOURDAIN E., WINDELS F. - BULL-TRANSAC - Projet Vauban, Villeneuve d'Ascq (59). Etude hydrogéologique 1ère phase - Compte rendu des travaux et essais au forage F1. 1985, 20 p.

85.SGN.464.NPC
TALBOT A., CAULIER P., LEPLAT J., DENUDT H. - Recherche de ressources nouvelles en eau potable pour le bassin minier du Pas-de-Calais - Reconnaissance du réservoir captif senonien-turonien entre Béthune et la Bassée. 1985, 26 p.

3. Surveillance (piézométrie - qualité)

85.SGN.204.ALS
KREBS G. - Contrôle et surveillance de la salinité de la nappe phréatique dans le département du Haut-Rhin -Rapport de synthèse des mesures effectuées en 1984. 1985, 31 p.

84.SGN.336.EAU
LANDREAU A., BRINON P., CAILLE M., SEGUIN J.J. - Organisation et exploitation du fichier national de la qualité des eaux souterraines. 1984, 18 p.

84.AGI.310.HNO
EBERENTZ P., JACQUOT P. - Recherche des causes de pollution de captages d'eau potable en Seine-Maritime. Identification des points de pollution par colorations. Propositions d'actions. 1984, 25 p.

85.SGN.512.HNO
BARRAT J.M., CARION P. - Prévision de l'évolution de la qualité des eaux des gravières de la boucle de Poses -Le Vaudreuil (27). Phase 1 : calcul des flux entrées - sorties dans les différents bassins. 1985, 23 p.

85.SGN.210.IDF
BERGER G. - Réseau de surveillance hydrochimique des nappes souterraines du département des Yvelines. Les éléments à l'état de traces. Substances indésirables et toxiques. Résultats 1980 - 1984. 1985, 18 p.

85.SGN.452.IDF
ANDRE P., DUBOIS D. - Recueil et synthèse des données hydrogéologiques dans le secteur de l'immeuble France-Soir, 100, rue Réaumur - 75002 PARIS. 1985, 45 p.

85.AGI.010.MPY
CHAMAYOU J., ROCHE J. - La nappe infra-molassique dans les régions Midi- Pyrénées et Aquitaine (partie sud) -Etat des connaissances et surveillance piézométrique -Mise à jour au 1/10/1984. 1985, 64 p.

85.SGN.234.PAC
GRAVOST M., VADON J., LENEPVEU Y. - Surveillance de la qualité des eaux de la nappe de la Crau - Contrôle des métaux toxiques. Observations effectuées en 1984. 1985, 8 p.

84.AGI.329.PIC
CAOUS J.Y., COMON D., SEGUIN J.J. - Agence de l'eau Artois-Picardie. Evolution des teneurs en nitrates de la nappe de la craie : essai de prévision. 1984, 36 p.

85.AGI.011.PIC
CAUDRON M. - Surveillance de la qualité chimique des eaux souterraines autour des zones industrielles et urbaines de Picardie. Campagnes de surveillance 1983- 1985. 1985, 14 p.

4. Modélisation - Technologie

85.SGN.218.AQI
MONDEILH C. - Ville de Dax (Régie municipale des eaux) - Unité de production hydrothermale de Boulogne. Réalisation du forage d'exploitation "Boulogne N.2" et obturation du forage défectueux "Boulogne N.1". 1985, 17 p.

85.SGN.003.EAU
BARRES M., BROSSIER G., SAUTER M. - Expérimentation et mise au point d'une méthodologie de mesure in situ des faibles perméabilités. Synthèse des travaux réalisés en 1982-1983 et 1984. 1985, 51 p.

85.SGN.004.EAU
DEGALLIER R. - Détermination des paramètres hydrodynamiques des nappes souterraines à partir de leurs variations de niveau sous l'influence de pompages. 1985, 5 p.

85.SGN.030.EAU
LALLEMAND-BARRES A. - Colmatage - Décolmatage (étude documentaire). 1985, 43 p.

85.SGN.048.EAU
RECAN M. - Application de la méthode des éléments finis à l'hydrodynamique souterraine - Notice et mode d'emploi du rapport MEFISTO. 1985, 136 p.

85.SGN.051.EAU
DEGALLIER R. - Colmatage des puits et forages - Manuel pratique. 1985, 60 p.

85.SGN.094.EAU
DEGALLIER R. - Calcul de l'espacement de drains dans une nappe phréatique peu épaisse. 1985, 26 p.

84.SGN.337.EAU
ROCHE P.A., THIERY D. - Simulation globale de bassins hydrologiques - Introduction à la modélisation et description du modèle GARDENIA. 1984, 71 p.

85.SGN.435.EAU
THIERY D. - Analyse et modélisation des bassins versants de la Moselle française - Modélisation de 40 bassins versants et analyse de sensibilité du calage. 1985, 225 p.

85.SGN.506.EAU
THIERY D. - Calcul de l'évapotranspiration potentielle par la formule de Penman. Application à 4 stations de la péninsule arabe et analyse de sensibilité. 1985, 68 p.

85.SGN.112.LOR
MAIAUX C., BABOT Y. - Ministère de l'environnement et Agence de l'eau Rhin-Meuse. Diagraphies de contrôle de forage captant la nappe profonde du grès vosgien en Lorraine et en Alsace. 1985, vol. 3, 48 p.

85.AGI.063.NPC
TALBOT A., PHILIPPART A., BAILLY S., CARON C. - S.E.N. Communauté urbaine de Lille - Champs captants des Ansereuilles, d'Emmerin et d'Houplin-Ancoisne. Modélisation des écoulements souterrains et des transferts de masse - Acquisition de données. 1985, 24 p.

Hydrogéochimie

84.SGN.378.EAU
DARMENDRAIL D. - Types hydrochimiques des eaux souterraines en milieu fissuré. Socle. 1984. 101 p.

85.SGN.281.EAU
IUNDT F., AUSSEUR J.Y., BERTHIER F. - Prospection des teneurs anomales des gaz et des sols par une technique légère et rapide - Exemple d'une prospection CO_2 pour la recherche d'eau thermominérale. 1985, 6 p.

85.SGN.404.EAU
IUNDT F., ROUZAIRE D. - Méthodologie de terrain en hydrogéochimie - Prélèvements, conditionnements et analyses in situ. 1985, 34 p.

84.SGN.361.ENV
LANDREAU A., ROUX J.C. - Les nitrates dans les eaux souterraines. Exemples de répartition et d'évolution des teneurs dans quelques aquifères français. 1984, 48 p.

84.SGN.169.GMX
BONNEFOY D., BOURG. A. - Estimation du fond géochimique naturel dans les sols et évaluation du niveau de pollutions dues aux activités humaines : cas du bassin versant de l'Orne, affluent de la Moselle. 1984, 49 p.

85.DAM.019.GMX
BOURG. A. - Adsorption of trace elements by suspended particulate matter in aquatic systems. 1985, 43 p.

85.SGN.061.GMX
SEVEQUE J.L., OUSTRIERE P., CRIAUD A. - WATRA 2, programme de calcul d'équilibre dans les eaux : une version de WATRA - Etendue aux espèces métastables du soufre : polysulfures, thiosulfate, sulfite. Données thermodynamiques révisées et complétées. 1985. 118 p.

85.AGI.021.IDF
BERGER G. - C.C.E - Secteur Nord de Nangis (Seine-et-Marne - France). Origine de la minéralisation azotée des eaux souterraines contract ENV 682 F (RS). 1985, 19 p.

84.SGN.384.IRG
CRIAUD A., VUATAZ D., GARCIA D. - Etude géochimique et géothermique des eaux sulfurées sodiques de Luchon, Pyrénées. 1984, 56 p.

85.MTQ.086.IRG
ZORPI M., LEGENDRE O. - Contribution à l'étude du champ géothermique fossile du François-Robert (chaine volcanique sous-marine de Vauclin-Pitault, Martinique). Etude microthermométrique des inclusions fluides des phases minérales hydrothermales. 1985, 84 p.

85.AGI.028.LOR
ALLEMOZ M. - Ministère de l'environnement. Recherche de micropolluants dans les eaux de la nappe des grès du Trias inférieur en affleurement dans le bassin houiller lorrain. 1985, 36 p.

84.SGN.388.MGA
CRIAUD A., FOUILLAC C., OUSTRIERE P. - WATRA, programme de calcul d'équilibre dans les eaux, une version de WATEQF étendue aux éléments : Ni, Co, Cu, Pb, Zn, Cd, Cr, As, Sb, Ge : données thermodynamiques révisées et complétées. 1984.

84.AGI.376.MPY
ASTRUC J.G., ROCHE J., SOULE J.C., VERNET R., CAMPENET J., TARISSE A. - Etude de la vulnérabilité des karsts du Quercy. Problèmes posés par la protection des sources de Touzac-Soturac (Département du Lot). 1985, 84 p.

Environnement

1. Gestion des sédiments

85.SGN.121.GEG
HUMBERT M., ALLIEZ V., STIELTJES L. - Les systèmes érosifs des grandes ravines "au vent" à l'île de la Réunion - Leurs conséquences sur l'aménagement du littoral et des Hauts Volume 1. 1985, 63 p.

85.SGN.227.MAR
DUMAS A., QUEGUINER D. - Contribution à l'étude pétrophysique des sédiments meubles en Méditerranée (plateau continental de la région Languedoc - Roussillon) -Implantation de récifs artificiels. 1985, 23 p.

85.SGN.305.MAR
CANE C. - Etude d'un modèle pluie-débit type S.C.S. (Soil Conservation Service) - Application au bassin-versant de l'Aille (83). 1985, 63 p.

85.SGN.408.MAR
DESHONS P. - Groupe d'études B.R.G.M./O.R.S.T.O.M. - Bassins versants expérimentaux en Haute-Provence -Problèmes d'érosion - Cadre climatologique. 1985, 87 p.

2. Sitologie des déchets superficiels

85.SGN.015.EAU
BARRES M., SAUTER M. - Etude sur site expérimental de la migration en terrain semi-perméabile d'effluents issus de boues industrielles. 1985, 110 p.

85.SGN.093.EAU
BARRES M., SAUTER M., BROSSIER G. - Contribution au suivi sur terrains expérimentaux de la migration d'hydrocarbure dans la zone non-saturée - Transferts vers la nappe. 1985, 27 p.

85.SGN.200.MPY
BLANCHIN M., BONNART J.M., FILIPPI C., GALHARAGUE J., ROCHE J. - Houillères d'Aquitaine. Découverte de Carmaux (81) - Terril sud et remblai de Cagnac. Etude géotechnique et hydrogéologique des conditions générales d'édification des terrils. 1985, 126 p.

Enfouissement profonds des déchets

85.SGN.124.GEG
OUVRY J.F., SIMON J.M. - Essais géotechniques sur l'argile de Boom provenant du laboratoire souterrain du CEN/SCK à Mol (Belgique). 1985, 16 p.

85.SGN.299.GEG
BOUILLEAU M., FARADJI P. - Mesures in situ du module de déformation de l'argile profonde de Boom - Essais au dilatomètre en forage à partir de la galerie expérimentale du CEN/SCK de Mol (Belgique). 1985, 11 p.

85.SGN.163.GEO
LEMIERE B. - Réflexions sur les caractéristiques pétrographiques des roches plutoniques et leur aptitude pour les sites de stockages. 1985, 30 p.

Fracturation

84.SGN.360.EAU
PARISOT P. - Etude de la fracturation du massif granitique du Mont Dol. 1984, 38 p.

84.SGN.374.GEG
SARDELLA E., BOUILLEAU M., FEUGA B. - Contribution à l'étude de l'influence de l'anisotropie de texture et de contrainte sur l'initiation de fractures hydrauliques dans les roches. 1984, 48 p.

85.SGN.025.GPH
STRAUB A. - Caractérisation d'un massif granitique par diagraphie acoustique (site d'Auriat - Creuse). 1985, 15 p.

85.RDM.074.IM
BLANCHIN R., CHILES J.P. - Contrat N.416-83-7 WAS-F (AD) Fracturation profonde des massifs rocheux granitiques (2ème phase) : étude statistique et géostatistique de la fracturation de la mine de Fanay-Augères (Hte-Vienne). 1984, 57 p.

85.SGN.626.IRG
LE MASNE D. - Expérimentation radar et MTVLF sur le site de Fanay (Haute- Vienne). 1985, 14 p.

85.SGN.515.STO
BILLAUX D., FEUGA S. - Etude comparée des méthodes de modélisation de la fracturation des roches. 1985, 41 p.

Sécurité

1. Géotechnique - Mouvements de terrain

85.AGE.015
MARGRON P. - Cameroun Bernard Construction - Grand Hôtel international de Pyong Yang - République populaire et démocratique de Corée. Renforcement des sols pour une fondation sur radier général. Guide pour un projet d'injection. 1985, 23 p.

85.SGN.538.BNO
BOTH J., PASCAUD P., MATHON C., MATHERON J.P. - Rectorat de l'université de Caen, U.E.R. de pharmacie. Bâtiments P.C.E.M. et amphithéâtre, rue Vaubenard à Caen (14) - Comblement des carrières souterraines. Résultats des travaux réalisés. 1985, 56 p.

85.SGN.548.BNO
MATHON C. - Ville de Saint-Lô (50) - Analyse de la stabilité du talus schisteux supportant les remparts et définition des moyens de confortement. 1985, 24 p.

85.SGN.099.CEN
PASQUET R. - SNCF - TGV Atlantique lot 34. La Fontenelle-Ambloy (41) - Reconnaissance géologique et géotechnique. 1985, 76 p.

85.SGN.138.CEN
PASQUET R. - Plan d'exposition aux risques naturels prévisibles (P.E.R.). Plan expérimental de Tours (37) -Rapport technique sur les risques liés aux mouvements de terrains. 1985, 38 p.

85.SGN.397.CEN
PASQUET R. - Etude de fondation du projet d'agrandissement de l'usine de la Société générale d'eaux de source à la Source-Orléans (45). 1985, 23 p.

85.RWA.030.GEG
LANDRY J. - République rwandaise - Alimentation en eau de la ville de Kigali à l'horizon 2000 (tranche d'urgence). 1985, 15 p.

85.AGI.014.IDF
ANDRE P., MAZENC B., BARON J.C., DUBOIS D., SARRADIN J. - Reconnaissance détaillée du sous-sol du domaine du Louvre - Paris 1er - Etude hydrogéotechnique du projet "Grand Louvre". 1985, vol. 3, 85 p.

85.SGN.182.IDF
SARRADIN J., MICHARD M. - Etablissement public du parc de la Villette. Reconnaissance géotechnique en vue de la réalisation de la première phase du parc (parc de la Villette - Paris 19eme). 1985, 23 p.

85.AGI.051.LOR
LEBON P., RINCK G. - Direction régionale de l'industrie et de la recherche - Région Alsace - Exploitation minière de Merckwiller - Pechelbronn. Note de réflexion sur les problèmes de stabilité des anciennes installations en vue de l'élaboration du POS. 1985, 15 p.

85.SGN.193.LOR
LEBON P. - District urbain de Nancy - Projet de construction d'une microcentrale hydroélectrique à Mereville (54) -Etude géotechnique. 1985, 15 p.

85.SGN.208.MPY
BONNART J.M., GALHARAGUE J. - SOGEREM - Mine à ciel ouvert du Moulinal (81) - Etude géotechnique de stabilité générale de la fosse dans sa géométrie finale. 1985, 19 p.

85.AGI.060.PAC
DELLERY B., ZANFONI A. - Port autonome de Marseille. Tunnel du Rove (13). Reconnaissance géologique et géotechnique des anneaux 383, 398, 407, 409, 415 -Section comprise entre l'éboulement et la tête sud. 1985, 11 p.

85.SGN.431.PAC
DELLERY B., ZANFONI A. - Métropolitain de Marseille - Prolongement nord de la ligne 2. Avant projet sommaire. Campagne des sols numéro 1. 1985, 35 p.

85.SGN.418.PIC
BOVE Y., MOURON R. - Direction des monuments historiques du département de l'Aisne - La Ferté-Milon, 02 -. Château de Louis d'Orléans. Examen préliminaire des parois rocheuses et des remparts du château. 1985, 14 p.

85.AGI.024.RHA
BARFETY J.C. - Examen des risques de chutes de rochers au-dessus de la R.N.90 au lieu-dit Etroit du Saix - Forêt du Saix/commune de Centron (73). 1985, 19 p.

85.AGI.039.**RHA**
MICHALSKI E.R. - Métropolitain ligne "D" Gorge de Loup-Gare de Vaise (Lyon- Vaise 69) - Synthèse géologique. 1985, 42 p.

85.AGI.040.**RHA**
ASTE J.P., MICHALSKI E.R. - SEMALY - Métropolitain Ligne "D" station et avant- gare de "Gorge de Loup" Lyon-Vaise (69) - Etude hydrogéotechnique. 1985, 26 p.

85.SGN.370.**RHA**
BRIGLIA P., MALATRAIT A.M. - Etude des désordres affectant le CD 213 entre St- Martin-sur-la-Chambre et St-François-Longchamp (73) - Projets de stabilisation. 1985, 52 p.

2. Risques volcanique et sismique

85.SGN.020.**GEG**
MOUROUX P. - Effets des séismes sur les tubages et canalisations enterrés. 1985, 108 p.

85.SGN.038.**GEG**
LAMBERT J. - Eléments de sismicité à Vienne au 5e siècle (38). Mise au point - Etude effectuée pour le Commissariat à l'énergie atomique (département de sûreté nucléaire). 1985, 12 p.

85.SGN.085.**GEG**
BERNARD P., LAMBERT J. - Sismicité des petites Antilles - Les séismes majeurs du 8 février 1943 et du 29 avril 1897 effets macrosismiques et caractéristiques focales. Etude de la vulnérabilité du bâti et corrélation avec les formations géologiques superficielles sur le site de la Pointe à Pitre en 1897. 1985, 89 p.

85.SGN.157.**GEG**
JULLIEN B. - Le plan d'exposition aux risques (P.E.R.) sur les communes de Carros - Gattières (06) - Méthodologie proposée pour la prise en compte de l'aléa sismique. 1985, 142 p.

85.SGN.244.**GEG**
GODEFROY P., LAMBERT J. - Sismicité et sismotectonique des confins Poitou/Limousin. 1985, 71 p.

84.SGN.343.**IRG**
MOUTON P. - Contribution à l'évaluation du risque volcanique : techniques d'étude des séries temporelles volcaniques, processus stochatiques descriptifs et génétiques. 1984, 59 p.

85.SGN.421.**IRG**
WESTERCAMP D. - La prévision générale des risques volcaniques - Méthodologie - Application à la Montagne Pelée, Martinique. 1985, 54 p.

85.SGN.471.**IRG**
TRAINEAU H., WESTERCAMP D. - Les éruptions ponceuses récentes de la Montagne Pelée (Martinique) : description des dépôts, dynamismes éruptifs. 1985, 63 p.

84.AGI.140.**PAC**
MOUROUX P., RABIER P., JULLIEN B. - Contribution à l'élaboration du plan d'exposition aux risques (P.E.R.) sur les communes de Carros et Gattières (06) - Risque sismique - Etude de la majoration sous actions sismiques de l'aléa "Mouvements de terrain-statique" -Cas des glissements des sols meubles. 1984, 23 p.

ÉNERGIES

Combustibles solides

84.AGI.379.**AQI**
DUBREUIL J., KARNAY G., LE POCHAT G. - Inventaire des ressources nationales en charbon - Recherches de lignites dans les Landes de Gascogne - Gisements de Mézos-centre et de Mezos-nord (partie méridionale) -Première évaluation des ressources. 1984, 23 p.

84.SGN.347.**GEO**
ODENT B.E. - Tourbes et tourbières. 1984, vol. 2, 85 p.

85.SEN.056.**GEO**
PASQUET J.F. - DMG - Sénégal - confirmation des indices de lignite. Etude gîtologique. Implantation des forages de la seconde phase dans la région de Diourbel et en Casamance (Sénégal). 1985, 24 p.

Energies nouvelles

85.**ANT**.003
BASSAT P., ATLAN Y. - Région Martinique - Impacts économiques des projets de microcentrales hydro-électriques en Martinique. 1985, 46 p.

84.AGI.389.**IDF**
Complexe immobilier intersyndical CGT Montreuil-Seine-St-Denis. Doublet géothermique pour climatisation. Réseau de surveillance hydrodynamique et hydrothermique octobre 1983 - novembre 1984 - Résultats. 1984, 30 p.

85.SGN.053.**IRG**
BOUNIOL B. - Etude d'un réservoir géothermique carbonaté : le Lusitanien de la région parisienne. 1985, 113 p.

85.SGN.068.**IRG**
DEMANGE J., LEBORNE S., TRAINEAU H., WESTERCAMP D. - Histoire volcano-structurale de la région sud de la Dominique : Wotten-waven, Soufrière : premiers résultats. 1985, 111 p.

84.SGN.124.**IRG**
CAUTRU J.P., ROBELIN C. - Etude d'un réservoir argilo-gréseux : cas du Trias du doublet géothermique de Melleray (45). Lithologie, corrélations faciologiques et diagraphiques - Première approche pétrographique de la réinjection. 1984, 34 p.

85.SGN.331.**IRG**
FABRIOL H., PETIAU G. - AFME - Mesures magnéto-telluriques dans l'île de la Guadeloupe, zone de Bouillante et de la plaine de Moscou. 1985, 31 p.

85.SGN.207.**GEO**
ROBELIN C., GIOT D. - Apports de la cathodoluminescence à la connaissance de la diagenèse des horizons réservoirs du Dogger du site géothermique d'Aulnay- sous-Bois. 1985, 40 p.

84.AGI.304.**NPC**
BOUE J.P. - Programme HYTHERM : Optimisation de la géothermie d'un doublet hydrothermique placé dans un écoulement régional - Notice d'utilisation sur micro-ordinateur. 1984, 28 p.

85.AGI.056.**POC**
COUBES L., JOUBERT J.M., TEISSIER J.L. - Ministère de l'urbanisme et du logement - Forage géothermique basse température de la Rochelle - GLRL 1 - Rapport de fin de forage. 1985, 16 p.

85.SGN.034.**SPG**
MAGET P. - Les diagraphies en forage : initiation aux méthodes et aux interprétations - Application en géothermie. 1985, 42 p.

85.NZL.042.**SPG**
COUDERT J.M. - Compte rendu de mission en Nouvelle-Zélande. 1985, 33 p.

85.SGN.325.**SPG**
COLLECTIF - Prescriptions minimales et recommandations spécifiques aux forages géothermiques - Dogger du Bassin parisien. 1985, 58 p.

85.SGN.511.**SPG**
COUDERT J.M. - Eléments de présentation de la géothermie française. 1985, 83 p.

RECHERCHE SUR LES TECHNIQUES

Télédétection

84.SGN.157.**GEO**
DELPONT J., WEECKSTEEN G. - Cartographie géologique et téléanalyse des formations sédimentaires crétacées situées à l'Est du volcan Reventador (Equateur). 1984, 23 p.

84.SGN.396.**GEO**
MALON J.F. - Principaux traitements des images satellitaires et associées - Point 1984. 1984, 46 p.

85.SGN.021.**GEO**
CASTAING C., DELPONT G. - Télédétection et fracturation prévisionnelle dans le bassin houiller lorrain (HBL). 1985, 11 p.

85.SGN.049.**GEO**
GUIGNES J.C., BROSSE J.M. - Infographie géologique télédétection - Traitement et restitution des cartes morphologiques et structurales issues des données satellitaires. 1985, 11 p.

85.SGN.063.**GEO**
WEECKSTEEN G. - Satellites d'observation de la terre, principales caractéristiques des capteurs -Disponibilités des données. 1985, 66 p.

85.SGN.097.**GEO**
DELPONT G. - Plan minéral du Rwanda : étude morphologique et morphostructurale du Rwanda et des régions avoisinantes par télédétection (images Landsat). 1985, 11 p.

85.SGN.250.**GEO**
SCANVIC J.Y., DELPONT G., KING C. - Quatrième rapport d'avancement du projet CEE MSM 037 (janvier-juin 1985). "Structural and geobotanical contribution of remote sensing to exploration of hidden deposits in Brittany" (France). 1985, 36 p.

85.SGN.264.**GEO**
BIENVENU J. - Apport des données satellitaires thermiques (Bassin Aquitain). Principes généraux de la télédétection thermique. Etude des linéaments d'après les images H.C.M.M. Premier essai d'interprétation géologique. 1984, 35 p.

85.SGN.267.**GEO**
BIENVENU J. - Apport des données satellitaires thermiques - Bassin Aquitain - Etude des linéaments d'après les images N.O.A.A.7 et H.C.M.M. - Premières hypothèses géologiques. 1985, 44 p.

85.SGN.396.**GEO**
ROUZEAU O. - Apport des données satellitaires thermiques - Bassin de Paris - Etude des linéaments d'après les images H.C.M.M. Rapport de D.E.A. 1985, 71 p.

85.SGN.446.**GEO**
BIENVENU J., ROUSSELOT D., ROUZEAU O. - Vers une exploitation des données satellitaires thermiques pour la géologie profonde des bassins sédimentaires - Premiers résultats - Bassin Aquitain - Bassin de Paris. 1985, 9 p.

85.SGN.539.**GEO**
GIRAULT F. - Apport de la télédétection à l'étude de l'Afar. Relations entre tectonique et volcanisme - 1) -Présentation partielle et résumé de la bibliographie. 1985, 21 p.

Techniques géochimiques

85.DAM.042.**GMX**
DISNAR J.R., GAUTHIER B. - Application de l'étude des composés hydrocarbonés volatils contenus dans les roches à la prospection des gîtes sulfurés en environnement carbonaté. I - Résultats obtenus sur le gîte de Trèves (Gard, France). 1985, 19 p.

85.DAM.049.**GMX**
DEGRANGES P., BAUBRON J.C., DEFOIX D. - Etude et mise au point d'une méthode de prospection géochimique par les gaz des sols. 1985, 79 p.

Techniques géophysiques

85.DT.002.**GPH**
GUILLEN A. - Modélisation 3D de l'anomalie magnétique du Bassin de Paris. 1985, 6 p.

85.DT.004.**GPH**
STRAUB A. - Modélisation numérique de dispositifs Gamma-Gamma. 1985, 25 p.

85.SGN.005.**GPH**
VALLA P. - Applications de la modélisation numérique en milieu monodimensionnel cylindrique pour l'étude d'un dispositif inductif de transmission de données en cours de forage. 1985, 15 p.

85.DT.011.**GPH**
LEBERT F. - Représentation et interprétation des enregistrements de la sonde de résistance de prise directionnelle "ELIAS". 1985, 12 p.

85.SGN.019.**GPH**
GUIOL J.M., PERAGGALO J. - La méthode géophysique E.M. Radar expérimentation du Géoradar YL-R2 de Oyo. 1985, 28 p.

85.SGN.203.**IRG**
AFZALI H. - Les diagraphies différées en géothermie (haute et basse température). 1985, 110 p.

85.SGN.332.**IRG**
BARTHES V., BOURRELIER P., DORE P., DECRIAU J.P., FABRIOL H., PETIAU G., POTIER H. - Ecoute sismique passive sur l'île de la Guadeloupe. 1985, 40 p.

Techniques analytiques

85.CAY.012
REVOIL G. - L'analyse de l'or. Essais de résolution des problèmes interférentiels, amélioration de la sensibilité et de la limite de détection. 1985, 15 p.

85.DT.007.**MGA**
PINAULT J.L., MOAL J.Y., JACQUIN J.P. - Rapport C.E.E. - Diagraphie du phosphore, calcium et silicium par activation neutronique du sondage SC1 de Ribemont-sur-Ancre (80). 1985, 10 p.

85.DT.009.**MGA**
MOAL J.Y., PINAULT J.L., THEMELI G.J., JACQUIN J.P. - Faisabilité du dosage des "cuttings" de sondage à l'aide de "SYRANO" en mine, pendant la perforation. 1985, 35 p.

85.DT.012.**MGA**
MOAL J.Y., PINAULT J.L., THEMELI G.J., JACQUIN J.P. - Influence de la granulométrie sur les mesures SYRANO - Enseignements pratiques pour les étalonnages. 1985, 45 p.

Informatisation, Modélisation

85.SGN.399.**DIG**
DELPORTE B. - MICROFACT - Un logiciel de gestion de données factuelles sur micro-ordinateur. 1985, 32 p.

84.SGN.300.**GEO**
NOYER M.L. - Identification semi-automatique de familles de fractures : le programme FAMIL. 1984, 40 p.

84.SGN.392.**GEO**
DUTARTRE P. - Analyse numérique de cartes de fracturation - Programme LINEAME - 1984, 29 p.

85.DAM.040.**GMX**
BONNEFOY D., GUILLEN A. - Le traitement multi-sources : le logiciel SYNERGIE. 1985, 10 p.

85.DT.008.**GPH**
BELPAUME P. - Logiciels sur micro-ordinateur HP série 80 pour la gestion et le tracé des sondages et profils électriques.

85.DT.029.**GPH**
VALLA P. - Logiciel "BIEFMT" : Modélisation magnétotellurique bidimensionnelle par éléments finis. 1985, 9 p.

85.DT.032.**GPH**
VALLA P. - Logiciel "AKITRA" : Acquisition numérique de données sur micro- ordinateur Hewlett-Packard série 200. 1985, 5 p.

D. LISTE DES PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES ET TECHNIQUES ET DES COMMUNICATIONS AUX CONGRES

Les publications faites par les agents du BRGM (ou en collaboration) représentent 251 titres. Elles concernent des recherches ayant abouti en 1984-1985 et portant le millésime 1985.

Les communications aux congrès nationaux et internationaux, faites en 1985 par les agents du BRGM (ou en collaboration) sont au nombre de 126, dont 39 ont été publiées.

GÉOLOGIE GÉNÉRALE ET RÉGIONALE

LAVILLE P. - L'évolution des techniques cartographiques au BRGM. Apport de l'informatique. *Séminaire sur la cartographie - Région Emilie Romagne.* Bologne (Italie), février 1985 (communication non publiée).

SCOLARI G., AUTRAN A. - Pour un débat constructif sur l'avenir des Sciences de la Terre. *Géochronique.* Novembre 1985, pp. 22-27.

Géologie profonde de la France

AUTRAN A. - Forage Echassières n°1 : diagraphie sonique (SEMM) - Programme Géologie profonde de la France (GPF 3 - thème 8). *Document BRGM* n°100, 1985, pp. 293-302.

AUTRAN A. - Orientation possibles des nouvelles études à entreprendre - Programme Géologie profonde de la France (GPF 3 - thème 8). *Document BRGM* n°100, 1985, pp. 317-323.

AUTRAN A. - Données générales sur le programme géologie profonde de la France. *Géothermie : séminaire d'évaluation 1984/1985.* Saint-Rémy-les-Chevreuses, pp. 103-113.

AUTRAN A., BURNOL L. - Résultats préliminaires du forage Echassières n°1 - Présentation synthétique des résultats du log lithologique du forage. Programme Géologie profonde de la France (GPF 3 - thème 8). *Document BRGM* n°100, 1985, pp. 21-38.

BARFETY J.C., GIOT D., GONZALEZ G. - Les paléo-anomalies thermiques liées à la structure alpine - relations entre le massif cristallin de Belledone et la couverture sédimentaire. Programme Géol. profonde de la France (GPF 2-thème 5). *Document BRGM* n°95-5, 1985, pp. 7-22.

BURNOL L. - Présentation des premières données analytiques obtenues sur le forage Echassières n°1. Programme Géologie profonde de la France (GPF 3 - thème 8). *Document BRGM* n°100, 1985, pp. 132-132.

CASTAING Ch., HOTTIN A.M., avec la collaboration de **AUTRAN A.** - Apport de l'étude pétrostructurale des carottes de socle dans l'interprétation géodynamique de l'anomalie magnétique du bassin de Paris. Hypothèse d'un rift dévonien refermé au Carbonifère. Programme Géol. profonde de la France (GPF 2 - thème 2). *Document BRGM* n°95-2, 1985, pp. 81-112.

CHANTRAINE J., CHAUVEL J.J., COGNE J., LEDRU P., THERME P. - Soubassement précambrien du domaine varisque (Bretagne) - Note de synthèse. Programme Géol. profonde de la France (GPF 2 - thème 4). *Document BRGM* n°95-4, 1985, pp. 7-16.

CUNEY M., AUTRAN A., BURNOL L. - Premiers résultats apportés par le sondage GPF de 900 m réalisé sur le granite sodo-lithique et fluoré à minéralisation disséminée de Beauvoir (complexe granitique d'Echassières, Massif Central, France). *Chron. Rech. minière,* 1985, n°481, décembre, pp. 59-63.

DEBEGLIA N., VIDAL O. - Synthèse des travaux gravimétriques réalisés sur le site de Cézallier. Programme Géologie profonde de la France (GPF 2 - thème 10). *Document du BRGM* n°95-10, 1985, pp. 129-170.

DEGOUY M., BRETON J.P. - Rapport d'exécution du forage Echassières n°1. Programme Géologie profonde de la France (GPF 3 - thème 8). *Document BRGM* n°100, 1985, pp. 1-18.

DUPIS A., BALTENBERGER P., BOYER A., GHORBEL N., MARIE P., PETIAU G., SHOUT H. - Etude magnéto-tellurique et sismologique complémentaire de l'anomalie magnétique du bassin parisien. Programme Géologie profonde de la France (GPF 2 - thème 2). *Document BRGM* n°95-2, 1985, pp. 47-80.

FABRIOL H. - Synthèse des campagnes de prospection magnéto-tellurique réalisées dans le Cézallier (1983-1984). Programme Géologie profonde de la France (GPF 2 - thème 10). *Document du BRGM* n°95-10, 1985, pp. 175-202.

FEUGA B. - Programme Géologie profonde de la France - Géothermalisme actuel (Cézallier). Note de synthèse sur les travaux de la phase 2 du programme. - *Document BRGM* n°95-10, 1985, pp. 7-43.

FEYBESSE J.L. - La tectonique post-métamorphique du bloc de Rentières - les épisodes de fracturation tardi-hercyniens, oligocènes et quaternaires (série du Cézallier, Massif central) - Programme Géol. profonde de la France (GPF 2 - thème 10). *Document BRGM* n°95-10, 1985, pp. 107-324.

FEYBESSE J.L. - Etude structurale du massif d'Echassières et de son encaissant métamorphique. Programme Géol. profonde de la France (GPF 2 - thème 8). *Document BRGM* n°95-8, 1985, pp. 55-72.

FEYBESSE J.L. - Synthèse géologique du Cézallier. Programme Géol. profonde de la France (GPF 2 - thème 10). *Document BRGM* n°95-10, 1985, pp. 45-92.

FEYBESSE J.L., MARCHAND J. - Les formations dévoniennes synmétamorphes affectant le socle de la région d'Ardes-sur-Couze (Cézallier, Massif central). Programme Géol. profonde de la France (GPF 2 - thème 10). *Document BRGM* n°95- 10, 1985, pp. 211-224.

FEYBESSE J.L., JACQUOT Th., MARTIN P., BONIJOLY D. - Présentation de l'ensemble des données structurales acquises sur le forage d'Echassières n°1. Programme Géol. profonde de la France (GPF 3 - thème 8). *Document BRGM* n°100, 1985, pp. 165-235.

FOUILLAC C. - Synthèse des données géochimiques disponibles. Programme Géologie profonde de la France. - (GPF 2 - thème 10). *Document BRGM* n°95-10, 1985, pp. 93-128.

FOUILLAC C., VUATAZ F.D., FOUILLAC A.M., CRIAUD A. - Compléments d'étude géochimique de la zone de Chassole. Programme Géologie profonde de la France (GPF 2 - thème 10). *Document BRGM*, n°95-10, 1985, pp. 369-389.

GABLE R., FOUCHER J.C. - Forage Echassières n°1 : étude thermique préliminaire. Programme Géologie Profonde de la France (GPF 3 - thème 8). *Document BRGM* n°100, 1985, pp. 280-292.

HARIB AL HASMI, FEYBESSE J.L., LOISEAU Ph. - Etude du système de failles contrôlant le contact entre le socle et les sédiments tertiaires de la Grande Limagne dans la région de Saint Hérent (Cézallier, Massif Central français). Programme Géol. profonde de la France (GPF 2 - thème 10). *Document BRGM* n°95-10, 1985, pp. 325-342.

LEDRU P. - Le chevauchement de la Nouaille, caractérisation d'un chevauchement crustal en moyenne Dordogne. Programme Géol. profonde de la France (GPF 2 - thème 3). *Document BRGM* n°95-3, 1985, pp. 113-128.

LEDRU P., CHAUVEL J.J., CHANTRAINE J. - Soubassement du Briovérien (Proterozoïque supérieur) en Bretagne Centrale (Massif armoricain). Etude lithologique et structurale de la coupe de St Méen. Programme Géol. profonde de la France (GPF 2 - thème 4). *Document BRGM* n°95-4, 1985, pp. 17-30.

MANIGAULT B. - Etude néotectonique - rapport nivellement Cézallier - Comparaison des nivellements sur quatre voies ferrées voisines du Cézallier - Programme Géol. profonde de la France (GPF 2 - thème 10). *Document BRGM* n°95-10, 1985, pp. 225-243.

MEGNIEN C. - Géologie profonde de la France : Bilan des travaux. Juillet 1985. *Géochronique*. Août, 1985, pp. 13-15.

MEGNIEN C. - Le programme Géologie profonde de la France - Bilan des travaux en juillet 1985. (GPF 2). *Document BRGM* n°95-0, 1985, pp. 9-12.

MEGNIEN C., WEBER C. - Programme on the deep geology of France. First results. *Observation of the Continental Crust through Drilling I*, C.B. Raleigh Ed., 1985, pp. 16-27.

MONIER G., TEGYEY M. - Etude pétrographique préliminaire sur le forage d'Echassières. Programme Géol. profonde de la France (GPF 3 - thème 8). *Document BRGM* n°100, 1985, pp. 41-95.

MOYES J., LE POCHAT G. - Bassins paléozoïques cachés sous l'Aquitaine (note de synthèse). Programme Géologie profonde de la France (GPF 2 - thème 7). *Document BRGM* n°95-7, 1985, pp. 7-10.

PERRIN J., RAVATIN F. - Etude du granite d'Echassières (Allier) par un profil de sondages magnétotelluriques. Programme Géologie profonde de la France (GPF 2 - thème 8). *Document BRGM* n°95-8, 1985, pp. 93-124.

STRAUB B. - Résultats complets des diagraphies du forage Echassières n°1. Programme Géologie profonde de la France (GPF 3 - thème 8). *Document BRGM* n°100, 1985, pp. 239-279.

VALENTIN J. - Prospection électrique - site du Cézallier (Puy-de-Dôme). Programme Géologie profonde de la France (GPF 2 - thème 10). *Document BRGM* n°95-10, 1985, pp. 487-506.

VARET J., BROUSSE R. - Volcanisme récent du Massif central (note de synthèse). Programme Géologie profonde de la France (GPF 2 - thème 9). *Document BRGM* n°95-9, 1985, pp. 7-13.

WEBER C. - Socle et anomalie magnétique du Bassin de Paris, note de synthèse. Programme Géologie profonde de la France (GPF 2 - thème 2). *Document BRGM*, n°95-2, 1985, pp. 7-16.

Géodynamique

ANDREIEFF P. - Stratigraphic range of caribbean larger foraminifera from Oligocene to Pliocene : state of knowledge in 1985. *Symposium "Géodynamique Caraïbes"*, Paris, 1985, Ed. Technip, pp. 99-100.

ANDREIEFF P., MULLER C., MASCLE A., MATHIEU Y. - Les calcaires néogènes de l'île de Sainte-Croix : étude stratigraphique et pétrophysique. *Symp. géodyn. Caraïbes*, Paris, 1985 (communication non publiée).

BELLON H., BONNETON J.R., MASCLE A., ANDREIEFF P., VILA J.M. - Données nouvelles sur l'évolution tectonique et magmatique des Iles Vierges septentrionales. *Symp. géodyn. Caraïbes*, Paris, 1985 (communication non publiée).

BLANCHET R., STEPHAN J.F., RANGIN C., BALADAD D., BOUYSSE P. et al. - La campagne POP 2 dans l'Ouest-Pacifique : de la subduction à la collision. Premiers résultats - *Séance spécialisée de la SGF "Océans"*, Bordeaux (France), décembre 1985 (communication non publiée).

BOUYSSE P., ANDREIEFF P., RICHARD M., BAUBRON J.C., MASCLE A., MAURY R.C. et **WESTERCAMP D.** - Géologie de la ride d'Aves et des pentes sous-marines du nord des Petites Antilles et esquisse bathymétrique à 1/1 000 000 de l'Est- Caraïbe. *Document du BRGM*, 1985, n°93, 146 p.

BOUYSSE P., ANDREIEFF P., RICHARD M., BAUBRON J.C., MASCLE A., MAURY R.C., WESTERCAMP D. - Aves Swell and Northern Lesser Antilles Ridge : rock-dredging results from ARCANTE 3 cruise. *Symp. géodyn. Caraïbes*, Paris 1985, Ed. Technip, 1985, pp. 65-76.

BOUYSSE P., BAUBRON J.C., RICHARD M., MAURY R.C., ANDREIEFF P. - Evolution de la terminaison nord de l'arc interne des Petites Antilles au Plio- Quaternaire. *Bull. Soc. Géol. France*, 1985, (8), vol. 1, n°2, pp. 181-188.

BOUYSSE P., WESTERCAMP D., ANDREIEFF P., BAUBRON J.C., SCOLARI G. - Le volcanisme sous-marin Néogène récent au large des côtes Caraïbes des Antilles françaises. Relations avec le volcanisme à terre et évolution du front volcanique. *Géologie de la France*, 1985, n°1, pp. 101-114.

GARRABE F., ANDREIEFF P. - Sédimentation et tectonique plio-quaternaire comparées de Marie Galante et de Grande Terre (Guadeloupe). *Symp. géodyn. Caraïbes*, Paris, 1985, Ed. Technip, pp. 155-160.

LE GUEN DE KERNEIZON M., WESTERCAMP D., CARRON J.P., BELLON H. - The Grenadines, southern lesser Antilles - Part II. Major petrochemical features of the volcanic rocks. *Symp. Geodyn. Caraïbes*, Paris, 1985, Ed. Technip, pp. 119-130.

MAUFFRET A., BOUYSSE P., MASCLE A., MERCIER de LEPINAY B., BENARD V., STEPHAN J.F., SAVOYE B., JANY I., HERNANDEZ E.M., LECLERC A., MONTJARET M.C. - Premiers résultats de la campagne SEACARIB 1 - *Séance spécialisée de la SGF "Oceans"*, Bordeaux (France), décembre 1985 (communication non publiée).

MAURY R.C., BOUGAULT H., COUTELLE A., GUENNOC P., JORON J.L., PAUTOT G. - Présence de ferrobasalte tholéiitique dans la fosse Jean-Charcot (26°15'N, 35°22'E) : signification dans le contexte géodynamique de la mer Rouge. *C.R. Acad. Sci.*, 1985, II, vol. 300, pp. 811-816.

MAURY R.C., WESTERCAMP D. - Variations chronologiques et spatiales des basaltes néogènes des petites Antilles ; implications sur l'évolution de l'Arc. *Symp. Geodyn. Caraïbes*, Paris 1985, Ed. Technip., pp. 77-90.

NICOLAS A., BOUDIER F., LYBERIS N., MONTIGNY R., GUENNOC P. - L'île de Zabargad (St-Jean) : témoin-clé de l'expansion précoce de la mer Rouge. *C.R. Acad. Sci.*, 1985, vol. 301, pp. 1063-1068.

PAUTOT G., GUENNOC P. - Proposal for oceanic drilling in the central and northern Red Sea axial areas. *French Proposals for Oceanic Drilling in the Indian and Southern Oceans*, Schlich R. et Munschy N. Eds., 1985, ODP-France, vol. 1, pp. 1-39.

PINET B., LAJAT D., LE QUELLEC P., BOUYSSE P. - Structure of Aves Ridge and Grenada Basin from multichannel seismic data. *Symp. Geodyn. Caraïbes*, Paris 1985, Ed. Technip., pp. 53-64.

WESTERCAMP D., ANDREIEFF P., BAUBRON J.C. - Evolution géologique de la Martinique. *Symp. Geodyn. Caraïbes*, Paris 1985 (communication non publiée).

WESTERCAMP D., ANDREIEFF P., BOUYSSE P., MASCLE A., BAUBRON J.C. - Géologie de l'archipel des Grenadines (Petites Antilles méridionales). Etude monographique. *Documents du BRGM*, 1985, n°92, 198 p.

WESTERCAMP D., ANDREIEFF P., BOUYSSE P., MASCLE A., BAUBRON J.C. - The Grenadines, Southern Lesser Antilles. Part 1 : Stratigraphy and volcano- structural evolution. *Symp. Geodyn. Caraïbes*, Paris 1985, Ed. Technip, pp. 109-118.

Sédimentologie, Stratigraphie, Géologie régionale

BONIJOLY D., CASTAING C. - Comment un continuum tectonique compressif peut-il rendre compte de la création de bassins sédimentaires de directions orthogonales - Exemple des bassins houillers tardi-hercyniens du Massif Central français. *Séance spécialisée SGF "Genèse et évoltuion des bassins sédimentaires en contexte compressif décrochant"*. Paris (France), mai 1985 (communication non publiée).

CAMPBELL H.J., GRANT MACKIE J., PARIS J-P. - Geology of the Moindou - Teremba area (New Caledonia) part. 1 : Stratigraphy and Structure of. *Geologie de la France*, 1985, n°1, pp. 19-36.

COUREL L., CULA P., GAUBERT J.C., GIOT D., ROGER J., VINCHON C. - Caractérisation des ensembles sédimentaires de la partie inférieure du Trias de la bordure ardéchoise (région de Privas). Programme Géol. profonde de la France (GPF 2 - thème 11) - *Document BRGM* n°95-11, 1985, pp. 51-72.

DEBRAND-PASSARD S. - Géologie de la Brenne. *L'univers du vivant*. 1985, sept. n°3, pp. 12-13.

DEURBERGUE A. - Transformations post-sédimentaires sur la bordure nord du Massif central. Les formations ferrugineuses du bassin de Chaillac ; le quartz carré des environs de la Châtre ; les altérites siliceuses du bassin de Cosne d'Allier. *Document BRGM* n°88, 1985, 184 p.

FARJANEL G. - La flore et le climat du Néogène et du Pleistocène de la Bresse (France) d'après l'analyse pollinique - Implications chronostratigraphiques. Thèse Dipl. Doct., Univ. Dijon. *Document BRGM* n°97, 1985, 176 p.

JAN DU CHENE R.E., FAUCONNIER D.C., FENTON J.P.G. - Problèmes taxonomiques liés à la révision de l'espèce "Gonyaulax" Cornigera Valensi, 1953, kyste fossile de dinoflagellé. *Rev. Micropal.*, 1985, vol. 28, n°2, pp. 109-124.

JEBRAK M., SUSTRAC G. - Les gisements d'apatite des complexes alcalins de la presqu'île de Kola (URSS) : une excursion du 27ème congrès géologique international (Moscou, 1984). *Chron. Rech. minière*, 1985, sept., n°480, pp. 49-55.

KOENIGUER J.C., LAURAIN M., MOUTON J., PLAZIAT J.C., WYNS R., BOUREAU E. 1985 - Sur de nouveaux gisements cénozoïques à végétaux fossiles dans le bassin de Paris : végétations et paléoclimats. *C.R. Acad. Sci.*, Paris, t. 301, (II), n°7, pp. 509-514.

LEFAVRAIS-RAYMOND A., LABLANCHE G. - Contrôle tectonique de la sédimentation du Lotharingien à l'Aalénien sur le seuil caussenard - *Les cahiers de l'Institut catholique de Lyon*, 1985, n°14, pp. 191-201.

LENOTRE N., CHAMLEY H., HOFFERT M. - Clay stratigraphy at Deep Sea Drilling Project sites 576 and 578, Leg 86 (Western North Pacific). *Init. Rep. Deep Sea Drilling Project*, 1985, vol. 86, Washington (U.S. Government Printing Office), pp. 571-579.

MAURIZOT P., FEIGNIER D., PARIS J.-P. - Données nouvelles sur les "fils de serpentinite" de Nouvelle Calédonie. *Géologie de la France*, 1985, n°1, pp. 61-67.

MAURIZOT P., PARIS J-P., FEIGNIER D., TESSAROLO Ch. - Articulation entre le domaine chaine centrale et le domaine métamorphique du Nord Calédonien. *Géologie de la France*, 1985, n°1, pp. 45-52.

MAURIZOT P., PARIS J-P., FEIGNIER D. - Paléogéographie de part et d'autre de l'accident ouest calédonien durant la période Crétacé supérieur - Paléocène : autochtonie de la formation des basaltes de la cote Ouest. *Géologie de la France*, 1985, n°1, pp. 53-60.

MENILLET F. - Les meulières et les argiles à meulières ; leurs rapports avec les surfaces néogènes à quaternaire ancien du bassin de Paris - Communication - *Géologie de la France*, n° 2, 1985, pp. 213-226.

OLLIVIER-PIERRE M.F., CHATEAUNEUF J.J., FARJANEL G., ESTEOULE- CHOUX J. - Du domaine marin au domaine continental, un exemple : les argiles feuilletées yprésiennes de la baie de Bourgneuf et du lac de Grand-Lieu (Vendée) - *Sc. Géol.*, Strasbourg, 1985, Bull. 38, 1, pp. 45-59.

SOUQUET P., DEBROAS E.J., BOIRIE J.M., PONS P., FIXARI G., ROUX J.C., DOL J., THIEULOY J.P., BONNEMAISON M., MANIVIT H., PEYBERNES B. - Le groupe du flysh noir (albo-cénomanien) dans les Pyrénées. *Bull. Cent. rech. explor.*, 1985, vol. 9, n°1, pp. 183-252.

TRAUTH N., ASTRUC G., ARCHANJO J., DUBREUILLH J., MARTIN P., CAULIEZ N., FAUCONNIER D. - Géodynamique des altérations ferralitiques sur roches sédimentaires, en bordure Sud-Ouest crétacé du Massif central : paysages sidérolitiques en Quercy Blanc, Haut Agenais, Bouriane et Périgord Noir. *Géologie de la France*, n°2, 1985, pp. 151-160.

Géochimie fondamentale - Minéralogie expérimentale - Pétrologie

DUPUY C., DOSTAL J., TRAINEAU H. - Geochemistry of volcanic rocks from Mt Pelée, Martinique. - *J. of Volcan. and Geotherm. Res.*, vol. 26, 1985, pp. 147-165.

FICHAUT M., MAURY R.C., COULON C., DUPUY C., GOURGAUD A., TRAINEAU H., WESTERCAMP D. - Magmatologie de la Montagne Pelée. - *Bull. PIRPSEV*, n°101, 1985, 94 p.

FITTON J.G., DUNLOP H.M. - The Cameroon line, West Africa, and its bearing on the origin of oceanic and continental alkali basalt. *Earth and Planetary Science Letters*, 1985, 72, n°1, pp. 23-38.

FONTEILLES M., PASCAL M.L. - Greisens, veines à quartz muscovite et zones feldspathisées comme éléments d'une même colonne métasomatique. *C.R. Acad. Sci.*, 1985, t. 300, sér. II, n°15, pp. 755-758.

JAMBON A. - Rare gas solubility in silicate melts. An estimation of partial molar solubility. *Colloque CNRS - AEG*, Carry-le-Rouet (France), novembre 1985 (communication non publiée).

JAMBON A., WEBER H., BEGEMANN F. - Helium and argon from an Atlantic MORB glass : concentration, distribution and isotopic composition. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 1985, 73, pp. 255-268.

LA ROCHE H. de - Classification et nomenclature des roches ignées : un essai de restauration de la convergence entre systématique quantitative, typologie d'usage et modélisation génétique - *Prix Prestwich 1984*, Paris, janvier 1985 (A paraître dans Bull. SGF, 1986).

LE BEL L., COCHERIE A., BAUBRON J.C., FOUILLAC A.M., HAWKESWORTH C.J. - A High-K, Mantle Derived Plutonic Suite from "Linga", near Arequipa (Peru). *Journal of Petrology*, 1985, vol. 26, Part. I, pp. 124-148.

MAUREL C. - Distribution de Al, Cr, Na et Ti entre pyroxènes et liquides tholéiitiques : étude expérimentale. *Réunion spécialisée S.F.M.C. "Les Pyroxènes"* Fontainebleau (France), novembre 1985 (communication non publiée).

MAURY D.C., CLOCCHIATTI R., COULON C., D'ARCO P., WESTERCAMP D. - Signification du grenat et de la cordiérite dans les laves du sud-ouest martiniquais.- *Bull. Minér.*, vol. 108, 1985, pp. 63-79.

OHNENSTETTER D., BROWN W.L. - Etude au microscope électronique à transmission et à la microsonde électronique d'une boninite de Nouvelle Calédonie. *Réunion spécialisée S.F.M.C. "Les Pyroxènes"* Fontainebleau (France), novembre 1985 (communication non publiée).

OHNENSTETTER D., OHNENSTETTER M., MARCHAND M. - Les pyroxènes des ophiolites de la Méditerranée : étude comparative et processus génétiques. *Réunion spécialisée S.F.M.C. "Les Pyroxènes"* Fontainebleau (France), novembre 1985 (communication non publiée).

PASCAL M.L., ROUX J. - K-Na exchange equilibria between muscovite-paragonite solid solution and hydrothermal chloride solutions. *Mineral Magazine*, 1985, 49, pp. 515-521.

RANCON J.P. - Hydrothermal history of Piton des Neiges volcano (Reunion island, Indian Ocean). - *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 1985, n°26, pp. 297-315.

RIOU R., OHNENSTETTER D. - Structure en sablier des pyroxènes des laves alcalines de l'Azerbaidjan (N-O de l'Iran). *Réunion spécialisée S.F.M.C. "Les Pyroxènes"* Fontainebleau (France), novembre 1985 (communication non publiée).

VOLFINGER M., ROBERT J.L., VIELZEUF D., NEVA A.M.A - Structural control of the chlorine content of OH-bearing silicates (micas and amphiboles). *Geochim. Cosm. Acta*, 1985, n° 49, pp. 37-48.

Diffusion des connaissances

DEBRAND-PASSARD S. - La cartographie dans le monde. Colloque "*Education et cartographie*" - Paris (France), septembre 1985 (communication non publiée).

DEBRAND-PASSARD S. - Les carrières de la cartographie géologique. Etat actuel et perspectives d'avenir. Colloque "*Education et cartographie*" - Paris (France), septembre 1985 (communication non publiée).

DEBRAND-PASSARD S. - Les perspectives de la carte géologique pour l'enseignement de demain. Colloque "*Education et cartographie*" - Paris (France), septembre 1985 (communication non publiée).

Bases et banques de données

COUDERT J.M. - Les banques de données dans les domaines de la géothermie et des pompes à chaleur - *JIGA 85* (journées internationales de géothermie appliquée), Bordeaux (France), mars 1985, pp. 181-190.

GRAVESTEIJN J., LEPRETRE J.P. - ECOMINE - Les informations mondiales les plus récentes sur l'économie et l'industrie minière. *6ème congrès national sur l'information et la documentation. IDT 85* - Versailles (France), juin 1985 (communication non publiée).

MATIÈRES PREMIÈRES MINÉRALES

LULIN J.M. - Un nouveau gîte à Nb, Ta, U, T.R., d'origine magmatique en Afrique orientale : le complexe alcalin tectonisé de Meponda. Précambrien de la province de Niassa (Rép. Pop. du Mozambique). Thèse 1984. *Document BRGM* n°87, 1985, 370 p.

LULIN J.M., JOURDE G., MESTRAUD J.L., MROZ J.M. - Un nouveau gîte à Nb, Ta, (U, T.R.) en Afrique Orientale : le complexe alcalin de Meponda (République populaire du Mozambique). Présentation géologique, mode de découverte et méthodes de prospection. *Chron. Rech. minière*, 1985, sept., n°480, pp. 35-48.

MELOUX J. - Intérêt économique des complexes alcalins anorogéniques et des carbonatites associés dans le monde. *Chron. Rech. minière*, 1985, déc., n°481, pp. 39-45.

MELOUX J. - Panorama sur les activités minières en France pendant l'année 1984. *Chron. Rech. minière*, 1985, déc., n°481, pp. 47-52.

Sulfures polymétalliques - Hydrothermalisme sous marin

AYE F., CHEZE Y., ABBASS EL HINDI M. - Discovery of a major massive sulphide province in northeastern Sudan. - *I.M.M. Conference* - Rabat (Maroc), avril 1985, pp. 43-48.

CORTIAL P., LEFEVRE J.C., HASHIM M. SALIK - Gold deposits related to the volcano-sedimentary sequence of Ariab. Sudan. *I.M.M. Conference* - Rabat (Maroc), avril 1985, pp. 155-159.

COTTARD F., DESCHAMPS Y., BRAUX C., HOTTIN A.M., EL SAMANI Y. - Geology and metallogeny of the Pan-African massive sulfides and gold bearing formations in the central part of the Red Sea Hills, (N.E. Sudan) - *13th colloqium of African Geology* - St Andrews (Ecosse), septembre 1985, vol. 1, pp. 154-155.

FELENC J., ALJI M., BELLOT A., FOURNIER M., HMEURRAS M., JIDORI S. - Découverte d'un amas sulfuré caché à pyrrhotite et métaux de base à Hajar (Massif des Guemassa, Maroc). *Chron. Rech. minière*, 1985, n°478, mars, pp. 61-66.

LECA X. - La découverte des amas sulfurés cachés de Neves Corvo (Sud du Portugal). Essai de méthodologie. *Chron. Rech. minière*, n°479, 1985, pp. 51-62.

LECA X., ALBOUY L., AYE F., PICOT P. - Caractéristiques principales du gisement de Neves-Corvo (Portugal). *Chron. Rech. minière*, 1985, n°481, pp. 53-58.

OUDIN E. - "Faunes hydrothermales et minéralisations". *Géochronique*, novembre 1985, p. 23.

OUDIN E. - High temperature mineral assemblages in submarine sulphide deposits from the Red Sea (Atlantis II Deep) and the East Pacific Rise. *Geological Society Meeting "Marine minerals in exclusive economics zones"* - Londres (GB), juin 1985 (communication non publiée).

OUDIN E. - Trace elements and precious metals concentrations in East Pacific Rise, Cyprus and Red Sea submarine sulphide deposits. *Conference NATO. Advances Research Institute "Marine minerals : resource assessment strategies"* - Greggynog (GB), juin 1985 (communication non publiée).

OUDIN E., BOULADON J., PARIS J.P. - Vers hydrothermaux fossiles dans une minéralisation sulfurée des ophiolites de Nouvelle-Calédonie. *C.R. Acad. Sci.*, 1985, t. 301, série II, n°3, pp. 157-162.

Minéralisations liées aux granitoïdes Hydrothermalisme continental

BAUBRON J.C., JEBRAK M., LHEGU J., ROSTAN J., TURCO G. - Ages et caractères de deux épisodes à fluorine du district provençal (Tanneron-Estérel). *C.R. Acad. Sci.*, 1985, t. 300, série II, n°11, pp. 511-516.

CHAURIS L., LAFORET C., COTTEN J. - Uraninite dans le granite stannowalframifère de Montbelleux (Massif armoricain). *Bull. Minéral.*, 1985, N° 108, pp. 855-858.

GUION J.L., BEZIAT P., TOLLON F. - Données nouvelles sur les paragenèses du champ filonien à wolframite de Lacoste, district de Montredon-Labesonnié (Tarn). *Bull. Minéral.*, 1985, t. 108, pp. 391-402.

IZORET L., MARNIER G., DUSAUSOY Y. - Caractérisation cristallochimique de la cassitérite des gisements d'étain et de tungstène de Galice, Espagne. *Can. Mineral.*, 1985, n°23, pp. 221-231.

JEBRAK M. - Le district filonien à Pb-Zn-Ag et carbonates du Jebel Aouam (Maroc central). *Bull. Minéral.*, 1985, n°108, pp. 487-498.

JEBRAK M. - Contribution à l'histoire naturelle des filons (F, Ba) du domaine varisque français et marocain (thèse 1984). *Document BRGM* n°99, 1955, 510 p.

JEBRAK M., LHEGU J. - Paléothermalisme du district de Brioude-Massiac. Programme Géologie profonde de la France (GPF 2 - thème 10). *Document BRGM* n°95-10, 1985, pp. 343-348.

JEBRAK M., SMEJKAL V., ALBERT D. - Rare earth and isotopic geochemistry of the fluorite-barite vein deposits from the western Rouergue district (France). *Econom. Geology*, 1985, nov., vol. 80, pp. 2030-2034.

KOSAKEVITCH A. - Mise au point sur l'état des connaissances de la minéralisation de Li, Sn, Ta, Nb et V du granite du Beauvoir. Programme Géologie profonde de la France (GPF 3 - thème 8). *Document BRGM*, n°100, 1985, pp. 94-102.

LE BEL L., LAVAL M. - Felsic plutonism in the Al Amar-Idsas area, Kingdom of Saudi Arabia. *Journal of African Earth Sciences*, 1985, vol. 4, pp. 87-98.

MEARY A., TOURAY J.C., GALLAND D., JEBRAK M. - Interprétation de l'anomalie en Europium des fluorines hydrothermales ; données de la résonance paramagnétique électronique : application au gîte de fluorine de Montroc (Tarn, France) - *Chem. Geol.*, n°48, 1985, pp. 115-124.

Gîtologie de l'or

AHMADZADEH H., TURC R., PICOT P., ROCHETTE J.M. - Présence d'or dans certaines minéralisations antimonifères de la région du Collet de Deze (Lozère) concession de Terraillon. *110e Congrès national des Sociétés savantes* - Montpellier (France), avril 1985, sciences, n°1, pp. 129-140.

BOIRAT J.M., STEPHAN J.F. - Un gisement d'or subactuel dans son cadre géodynamique : les mines d'Acupan et d'Antamok (Cordillère Centrale, île de Luzon, Philippines). *Chron. Rech. minière*, 1985, n°480, pp. 5-16.

DOMMANGET A., DIALLO M., GUILLOUX L. - Un nouveau type de gisement d'or : Loulo (Mali). *Chron. Rech. minière*, 1985, déc., n°481, pp. 5-18.

KASSA MOMBO C. - Les gisements aurifères d'Ovala et de Dondo Mobi. Influences des tectoniques superposées et des fluides métamorphiques. *Journées de réflexion sur la prospection de l'or au Gabon*. Libreville (Gabon), mai 1985 (communication non publiée).

LECOMTE P., WILHELM E. - Présentation de trois cibles "or" issues de l'Inventaire "voie ferrée" en cours d'étude par le BRGM. *Journées de réflexion sur la prospection de l'or au Gabon*. Libreville (Gabon), mai 1985 (communication non publiée).

MARCOUX E., PICOT P., MOELO Y. - Evolution paragénétique des minéralisations sulfurées aurifères du district de Pontvieux-Labessette (Puy-de-Dôme). Apport des études isotopiques du plomb. *Bull. Minéral.* 1985, 108, pp. 465-481.

Minéralisations liées aux roches basiques et ultrabasiques

AUGE T. - Platinum-group-mineral inclusions in ophiolitic chromitite from the vourinos complexe, Greece. *Can. Mineral.*, 1985, n°23, pp. 163-171.

AUGE T., JOHAN Z. - Mantle sequences and associated chromite mineralization in ophiolitic complexes : mineral chemistry constraints. *Conference "Metallogeny of basic and ultrabasic rocks"*. Edimbourg (GB), avril 1985 (communication non publiée).

OHNENSTETTER M. - Classification pétrographique et structurale des ophiolites, écho de la dynamique des zones de transition croûte-manteau-incidence sur la nature et la disposition des corps de chromite associés. *C.R. Acad. Sci.*, 1985, sér. II, n°20, pp. 1413-1418.

OHNENSTETTER M. - The origin of chromite deposits inferred from the petrologic and structural diversity of ophiolites. *Congrès "Geochemistry of Ophiolites"*, Genève (CH), décembre 1985 (communication non publiée).

OHNENSTETTER D., OHNENSTETTER M., MARCHAL M. - Etude comparative de la minéralogie des ophiolites téthysiennes. *Congrès "Geochemistry of Ophiolites"*. Genève (CH), décembre 1985 (communication non publiée).

OHNENSTETTER M., ROSSI Ph. - Pétrologie - Reconstitution d'une paléochambre magmatique exceptionnelle dans le complexe basique-ultrabasique du Tenda, Corse hercynienne. *C.R. Acad. Sci.*, 1985, t. 300, série II, n°17, pp. 853-858.

Gîtes de couverture - Phosphates

GAUTHIER B., DISNAR J.R., MACQUAR J.C., TRICHET J. - Pétrographie de la matière organique des séries carbonatées liasiques du gîte Pb-Zn de Trèves. Gard, France. Implications génétiques. *C.R. Acad. Sci.*, 1985, n°9, série 2, t. 300, pp. 413-417.

GAUTHIER B., DISNAR J.R., MACQUAR J.C., TRICHET J. - Sur une altération particulière du kérogène de série carbonatées dolomitisées et minéralisées : exemple du gîte Zn-Pb de Trèves. Implications génétiques. *C.R. Acad. Sci.*, 1985, t. 301, série II, n°1, pp. 33-38.

GIOT D. - Les minerais phosphatés en grains - proposition pour une définition des particules. *Réunion P.I.C.G., projet 156 "Phosphorites"*. Caroline du nord, Floride (USA), mai 1985 (communication non publiée).

SUSTRAC G. - Phosphate exploration in West Africa - Prospection methods employed and results obtained by the BRGM. *IMH Annual Commodity Meeting "Phosphate rock"*, Londres (GB), décembre 1985 (communication non publiée).

Matériaux

GALTIER L., LE LANN F. - Les ressources minérales sous-marines. 2ème partie : Placers en mer. *Industrie Minérale - Mines et Carrières*, 1985, vol. 67, pp. 73-78.

LE BERRE P. - Le gisement d'attapulgite de Puceul (Loire-Atlantique, France). *Chron. Rech. minière*, 1985, n°478, mars, pp. 43-50.

ROZES B. - Techniques d'extraction modernes dans les carrières de roches ornementales. *Annales des Mines*, 1985, n°1, pp. 25-32.

AMÉNAGEMENT

Eau

ARMAND C., KOUATE L., SOURISSEAU B. - Hydraulique villageoise dans la région centrale du Burkina Faso. Programme CEAO-CCCE. Principaux résultats et leur valorisation. *Hydrogéologie* - 1985, n°3, pp. 203-208.

BECKELYNCK J., BOSCH B., DESPLAN A., DUPAS J., TALBOT A. - Study of the Water Development Possibilities in the Hainaut Region. *European Geothermal Update - Commission of the European Communities.* D. Reidel Publisching Company - Dordrecht/Boston/Lancaster, 1985, pp. 150-154.

BERNERT G., CHENET J., GARIN H., AYARGA K. - Le renforcement de l'alimentation en eau potable des quartiers de la périphérie de Niamey, Niger et sa valorisation par la petite irrigation - Programme d'urgence 1984. *Hydrogéologie*, 1985, n°3, pp. 209-212.

COLLIN J.J. - Hydrogéologie des zones de seuils.- *Comité des travaux historiques et scientifiques*, bull. de la section des sciences, t. 9, 1985, pp. 273-278.

COLLIN J.J., MANGIN A. - Evolution récente de l'hydrogéologie : de la prospection à la gestion des ressources en eau. *Bull. Soc. Géol. de France* (8), 1985, t. I, n°7, pp. 999-1008.

DEGALLIER R. - Procédure semi-automatique pour déterminer les paramètres hydrodynamiques de nappes souterraines dans le cas d'écoulement avec composantes verticales. *17ème congrès AIH - Hydrogéologie au service de l'homme* - Cambridge (GB), sept. 85 (communication non publiée).

MARGAT J. - Groundwater conservation and protection in developed countries. *Mem. Assoc. intern. hydrogeol.* (18th congress - Cambridge). Vol. XVIII, Part. I, pp. 270-301.

MARGAT J. - Les mines d'eau fossile. *Courrier UNESCO*, 1985, vol. 38, n°1, pp. 14-16.

POINTET Th. - Water balance approach and modelling. *International workshop Rural hydrogeology and hydraulics in fissured basement zones*, Univ. of Roorkee (India), mars 1985 (communication non publiée).

POINTET Th. - Structure, scales and hydraulic properties of fractured rocks.- *International workshop Rural hydrogeology and hydraulics in fissured basement zones.* Univ. of Roorkee (India), mars 1985 (communication non publiée).

ROCHE P.A., TALBO H., THIERY D. - Aspects quantitatifs des ressources en eau en région de socle.- *Sciences et techniques de l'eau* (Québec), vol. 18, n°2, 1985, pp. 147-152.

QUELENNEC R.E., ROBSON A. - Making use of the Meteosat data collection system for representative and experimental basins in Provence (France). *International workshop on Hydrologic applications of space technology.* Cocoa Beach (USA), août 1985 (communication non publiée).

ZILLIOX L., AMBROISE B., CARBINER R., CLOOTS A.R., DERR-HARF C., FRITZ B., FROELICHER R., MASSABUAU J.C., MUNTZER P., SCHENCK Ch., VANCON J.P. - L'action de recherche pluridisciplinaire du Groupe PIREN-EAU en Alsace : Contribution d'un partenaire scientifique à la définition d'objectifs régionaux de gestion de l'eau. *5th World Congress on Water Resources, IWRA* - Bruxelles (Belgique), octobre 1985, Proceedings vol. I, pp. 267-277.

Hydrogéochimie

1. Qualité des eaux souterraines

BABOT Y., BUARD C., RAMON S. - Les nitrates dans la nappe phréatique en Alsace (France). *Congrès "Nitrates"*, Paris, octobre 1985 (communication non publiée).

CAUDRON M., CREMILLE L. - Impact des bassins d'infiltration d'eaux industrielles sur la nappe de la craie à Estrées - Mons (Somme). *Hydrogéologie*, 1985, n°1, pp. 65-73.

CONNESSON C., GILLET M., MORVAN J., MARTIN G., TALBO H., LANDREAU A. - Dénitrification in-situ à l'aide d'un substrat carbone solide.- *Congrès "Nitrates"*, Paris, octobre 1985 (communication non publiée).

MARIOTTI A., LANDREAU A. - Etude du transfert et de l'évolution des nitrates dans les aquifères souterrains au moyen du traçage isotopique naturel ^{15}N.- *Congrès "Nitrates"*, Paris, octobre 1985 (communication non publiée).

PALOC H. - Problèmes de protection de la qualité des eaux souterrains en terrains calcaires. *Theoritical background hydrology and practice of ground water protection zones*, ed. UNESCO-AIH-IUGS, 1985, vol. 6, pp. 145-158.

SEGUIN J.J., THIERY D. - Modèle de prévision de l'évolution des teneurs en nitrates d'une source ou d'un captage. Exemples d'application.- *Congrès "Nitrates"*, Paris, octobre 1985 (communication non publiée).

TALBO H. - Pollution par les nitrates. Observations faites en Bretagne sur la stratification chimique des eaux souterraines. *Congrès "Nitrates"*, Paris, octobre 1985 (communication non publiée).

THIERY D., SEGUIN J.J. - Modélisation globale des transferts de nitrates dans une nappe souterraine ou dans une nappe souterraine ou dans une source. Application à un site près de Pithiviers et aux sources de Provins.- *Congrès "Nitrates"*, Paris, octobre 1985.

THIERY D., SEGUIN J.J. - First modelisation of nitrates transfer over a river basin with a lumped model. Application to Rembercourt basin (France). - *Congrès AIH, l'hydrogéologie au service de l'homme*, Cambridge (GB), sept. 1985. Rapport BRGM n°85 SGN 610 EAU, pp. 3-13.

2. Interaction eau-roche en milieu hydrothermal - Inclusions fluides

BOURG A., OUSTRIERE P., SUREAU J.F. - Experimental investigation of clogging of fissures and pores in granite. *Mineralogical Magazine*, 1985, avril, vol. 49, pp. 223-231.

GIRET Ph. TOURAY J.C., ILDEFONSE J.P., JEBRAK M. - Dynamique de mise en place des extrusions monoclinales liasiques de la région de Taourirt (Maroc oriental) ; l'apport d'une étude d'inclusions fluides. *Bull. Soc. Geol. Fr.*, 1985, n°5 (8), t. 1, n°5, pp. 787-790.

GUILHAUMOU N., BENY C. - Caractérisation des hydrocarbures inclus dans les quartz des terres noires subalpines méridionales. *8th Symposium on European current research in fluid inclusions*. Göttingen (RFA), avril 1985 (communication non publiée).

HUBERT P;, AHMADZADEH H., CALLI M., JEBRAK M., OUSTRIERE P., TOLLON F., TOURAY J.C. - Fluid inclusion studies in gold bearing quartz from Cros- Gallet (Massif Central, France). *8th Symposium on European current research in fluids inclusions*. Göttingen (RFA), avril 1985 (communication non publiée).

RIBSTEIN A., LEDOUX E., BOURG A., OUSTRIERE P., SUREAU J.F. - Etude du colmatage des fissures en milieu granitique par précipitation de la silice. *Rapport CCE* EUR 9476 FR, 1985, 140 p.

3. Eaux thermo-minérales

BLAVOUX B., BERTHIER F. - Les originalités hydrogéologique et technologique des eaux minérales.- *Bull. Soc. géol. France*, (8), 1985, t. 1, n°7, pp. 1033-1044.

CRIAUD A., FOUILLAC C. - Use of the l'vov platform and molybdenum coating for the determination of volatile elements in thermomineral waters by atomic absorption spectrometry.- *Analytica Chimica Acta*, 1985, 167, pp. 257-267.

VUATAZ F.D., CRIAUD A., FOUILLAC C. - Detailed geochemical study of alkaline thermal waters: a geothermal evaluation in the Pyrénées Range, Southern France.- *Geothermal Resources Council Transactions*, 1985, vol. 9, part I, pp. 375-380.

Environnement

BARRES M., SAUTER M. - Etude sur site expérimental de la migration en terrain semi-perméable d'effluents issus de boues industrielles.- *Hydrogéologie*, n°2, 1985, pp. 99-103.

BEAUDUC P., DEBARNOT H., MALATRAM A.M., MARTELAT M., MOULY J.M., RAMPON G. - Recherches de formations géologiques à très faible perméabilité pour les dépôts de déchets industriels dans la région Rhône-Alpes. *Hydrogéologie*, 1985, n°2, pp. 113-123.

BONNEFOY D., BOURG A. - Fonds géochimiques régionaux et contamination des sols : l'exemple du bassin versant de l'Orne. *Hydrogéologie*, 1985, n°1, pp. 45-54.

BROSSE J.M. - Evolution du littoral sous l'effet de rejets miniers dans la région d'Albo (Corse du Nord). Etude diachronique des photographies aériennes. *Hydrogéologie* n°2, 1985, pp. 105-111.

CHALUMEAU G. - Décharge industrielle à Lantenne-Vertière (Doubs). Etude d'impact. *Hydrogéologie*, 1985, n°1, pp. 7-12.

COURTOT P. - Forages géothermiques et nuisances sonores.- *Géothermie Actualités*, n°1, 1985, pp. 17-20.

D'ARCY D., BOIS J.J., MISHELLANY A., FARIGOULE Y. - Schéma coordonné d'exploitation de carrières. Etude technique préalable réalisée dans la région de Pont- du-Château et des Martres d'Artière (Puy-de-Dôme). *Hydrogéologie*, 1985, n°1, pp. 23-30.

EBERENTZ P. - Impact thermique des ballastières sur les eaux superficielles et souterraines.- *Hydrogéologie*, 1985, n°1, pp. 75-80.

GREFFARD J., SARCIA C., BOURG A. - Etude de la contamination des sols sous les champs d'épandage d'Achères. *Hydrogéologie*, n°1, pp. 55-64

LAFITTE P., MAIAUX C., RICOUR J., RUQUOI D. - Résorption des nuisances engendrées par le "Triangle de Carling" (Moselle). *Hydrogéologie*, 1985, n°2, pp. 133-141.

MAUBERT F. - Problèmes posés par le réaménagement des exploitations de substances minérales. *Revue de l'Industrie Minérale*, n°8, 1985, pp. 377-381.

MAUBERT F., SAUTER M. - Expériences françaises de réaménagement de sites miniers.- *Hydrogéologie*, n°2, 1985, pp. 159-167.

MOUTON C., BECKELYNCK J., ALBAGNAC G., DUBOURGUIER H.C. - Production par récupération de biogaz produit par les ordures ménagères enfouies en décharge. *T.S.M. - L'eau*, 1985, n°9, pp. 391-404.

RINCK G., RISLER J.J. - "Mise en tombeau étanche" de terres polluées par de l'hexachlorocyclohexane. *Hydrogéologie*, n°2, 1985, pp. 143-147.

RUHARD J.P. - Détermination in situ des perméabilités de couches en sites étanches pour une mise en dépôt de déchets dans le cadre de la nouvelle réglementation. *Symposium franco-allemand sur les déchets*, Bordeaux (France), novembre 1985 (communication non publiée).

RUHARD J.P. - Etude d'impact d'une carrière de granulats à Illats (Gironde). *Hydrogéologie*, 1985, n°1, pp. 37-43.

Enfouissement profond des déchets

BARBREAU A., DERLICH S., COME B., PEAUDECERF P., DURAND E., MARSILY G. de. (1985) - Experiments performed on granite in the underground research laboratory at Fanay-Augères. *International Symposium on coupled processes affecting the performance of a Nuclear Waste Repository* - Berkeley (USA), septembre 1985 (communication non publiée).

BARBREAU A., MARSILY G. de, PEAUDECERF P., DURAND E. - The evaluation of Large Scale Permeability in deep Granite. *International Topical Meeting of high level Nuclear Waste disposal*. Pasco (USA), septembre 1985 (communication non publiée).

CANCEILL M., BILLAUX D., GODEFROY P. et al. - Evolution naturelle d'un site de stockage de déchets radioactifs à vie longue : essai de modélisation dans le cadre d'une approche géoprospective. *Bull. Assoc. intern. géol. ing.*, 1985, n°32.

PEAUDECERF P., D'ALESSANDRO M., CANCEILL M., FOURNIGUET J., GODEFROY P. - L'approche géoprospective et la prévision à long terme de l'évolution des conditions de migration des radio-éléments. *Réunion CCE "La gestion et l'évacuation des déchets radioactifs"* - Luxembourg, avril 1985 (communication non publiée).

Fracturation

ANTOINE P., COULOMB J.J., GIRAUD A., GUERANGE B. - Données nouvelles sur les systèmes de failles de décrochement du bouclier arabe en Arabie Séoudite. Implications pratiques en génie civil et recherche minière. *Bull. Assoc. intern. geol. ing.*, 1985, n°31, pp. 9-18.

BEAUFILS G., BRETON J.P., VIARGUES M. - Canevas de Schmidt basculés de 2 en 2 degrés. Traitement graphique des données structurales. (The 2° x 2° rotated Schmidt net. Graphic treatment of structural data). *Manuels et méthodes*, ed. BRGM, 1985, n°11, 48 p.

BOUILLEAU M. - Mesures de contraintes (forage ECHASSIERES n°1). Interprétation des tests de fracturation hydraulique. Programme Géologie profonde de la France (GPF 3 - thème 8). *Document BRGM* n°100, 1985, pp. 303-316.

FEYBESSE J.L., DEMANGEON G., PIERREFITTE M. - Etude structurale du bloc de Rentières (région d'Ardes-sur-Couze, série du Cézallier) - Cartographie des couloirs fortement fracturés par approche statistique du champ de fracturation.- Programme Géol. profonde de la France (GPF 2 - thème 10) - *Document BRGM* n°95-10, 1985, pp. 285-306.

MASSOUD H., CHILES J.P., FEUGA B. - Relevé de fracturation à Fanay-Augères (Poster). *Symposium international sur l'approche stochastique des écoulements souterrains* - Montvillargenne. (France) juin 1985.

WEECKSTEEN G. - Evaluation géologique des clichés dans la champbre photogrammétrique de Spacelab - 1 dans le Nord de la France, *Bull. SFPT* n°99, 1985, pp. 17-26.

Sécurité

ASTE J.P., GUERPILLON Y. - Essai de chargement d'une fondation superficielle sur pente d'éboulis pour le viaduc des Neyrolles (autoroute A 40). *Revue française de géotechnique*, 1985, N°32, pp. 29-45.

BEAUFRERE C. - Etude du rôle des facteurs géologiques dans la stabilité des carrières souterraines. *Bull. Assoc. intern. géol. ing.*, déc. 1985, n°32, pp. 12-24.

BENZ J.P., CHILES J.P., DUMAS J.P. - Essais comparés de deux méthodes d'abattage en filons minces. *Congrès de la Société de l'industrie minérale "Mines et Carrières"* - Toulouse (France), avril 1985 (communication non publiée).

CISTERNAS A., GODEFROY P., GVISHIANI A., GORSHKOV A.J., KOSOBOKOV V., LAMBERT M., RANZMAN E., SALLANTIN J., SOLDANO H., SOLOVIEV A., WEBER C. - A dual approach to recognition of earthquake prone areas in the Western Alps. *Ann. Geophysicae*, 1985, vol. 3, n°2, pp. 249-270.

COMTET A., MEMIER B. - Ausculation de la digue de Lavous (aménagement du Haut- Rhône). *Revue française de géotechnique*, 1985, n°32, pp. 46-57.

COURTOT P. - Bruits et vibrations liés à l'emploi des explosifs en tirs de carrière : éléments pour une approche quantitative. *Hydrogéologie n°1*, 1985, pp. 13-22.

DREAN P. - L'exploitation du lit vif des rivières par dragues suceuses. *Congrès de la Société de l'industrie minérale "Mines et Carrières"* - Toulouse (France), avril 1985 (communication non publiée).

FALCETTA J.L. - Un nouveau modèle de calcul de trajectoires de blocs rocheux. *Revue française de géotechnique*, 1985, n°30, pp. 11-17.

GODEFROY P., LAMBERT J. - Sismicité du Cézallier et des régions limitrophes. Programme Géologie profonde de la France - thème 10. *Document du BRGM* n°95-10, 1985, pp. 245-282.

GOGUEL J., VOGT J., WEBER C. - Evaluation de l'aléa sismique. La carte sismotectonique de la France. *Génie parasismique*, publié sous la direction de V. DAVIDOVICI, 1985. Presses de l'Ecole nat. des ponts et chaussées, pp. 187-192.

GONZALEZ L.A., CARULLA N., MASSAL Ph., POINTET Th. - Water inflow precision in the Santa Barbara projected Mine. *Second International Congress of the International Mine Water Association (IMWA)* - Grenade (Espagne), septembre 1985 (communication non publiée).

MANFROY P., NEERDAEL B., SIMON J.M., ROUSSET G. - Mesures de convergence en argile profonde. *Tunnels et ouvrages souterrains*, 1985, n°68, pp. 63-71.

MESSIN M. - Détection des mouvements de masses rocheuses. *Bulletin de l'Association départementale de Protection civile de la Savoie*, 1985, n°11, pp. 47-53.

OUVRY J.F. - Results of triaxial compressive tests and triaxial creep tests on an artificially frozen stiff clay. *11th International Symposium on Ground Freezing*. Sapporo (Japon), août 1985 (communication non publiée).

WOJTKOWIAK F., RAI M.A., BONVALLET J. - Etude expérimentale en laboratoire de différentes méthodes de renforcement des petits piliers de mine. *Bull. Assoc. intern. géol. ing.*, 1985, n°32, pp. 131-138.

ÉNERGIES

Combustibles solides

BECQ-GIRAUDON J.F. - Le bassin du Nord et du Pas-de-Calais dans le contexte hercynien de l'Europe occidentale. *Industrie minérale - Mines et Carrières* - Vol. 67, juin 1985, pp. 369-376.

DONSIMONI M. - Le gisement houiller de Decize-Devay (Nièvre-France) : influence d'une tectonique synsédimentaire sur la genèse d'une couche épaisse. *Xe Congrès intern. de stratigraphie et de géologie du Carbonifère*. Madrid (Septembre 1983), Compte rendus ed. 85, vol. 3, pp. 333-342

SOLETY P., GADELLE C. - GEGS's underground coal gasification pilot test experimentation. *Workshop on Underground Coal gasification* - New-Delhi (Inde), septembre 1985 (Communication non publiée).

Energies nouvelles

BENDERITTER Y., FERRANDES R. - Le programme de recherche "géothermie profonde généralisée" : un pari raisonnable sur l'avenir. - *Géothermie Actualités*, n°1, 1985, pp. 21-26.

BOUVET M. - La géothermie en France : des recherches en plein développement. *L'eau, l'industrie, les nuisances*, n°89, 1985, pp. 22-24.

COUDERT J.M., LEJEUNE J.M., ROJAS J., VARET J. - Normal gradient geothermal energy : technical and economic characteristics. *Geothermal Resources Council Transactions*, International volume, 1985, pp. 77-84.

FERRANDES R., FOUILLAC C. - La géothermie, une jeune industrie en pleine évolution technologique, *JIGA 85* (Journées internationales de géothermie appliquée), Bordeaux 1985, pp. 191-197.

GOGUEL J. - Fluid production technology : state of the art, potentialities and limitations. *Geothermics*, vol. 14, n°2/3, 1985, pp. 151-156.

VARET J. - La géothermie en France. *Bull. Soc. Géol. France*, t. 1, n°7, 1985, pp. 1057-1074. *Colloque la géologie au service des hommes*. St Cloud (France), mai 1985 (communication non publiée).

VARET J. - Les ressources géothermiques françaises. Perspectives européennes. *JIGA 85* (Journées internationales de géothermie appliquée). Bordeaux, 1985, pp. 67-75.

VARET J. - La géothermie : une technologie profondément en pointe. *La Croix. L'Evènement*, 1985, 28 septembre, pp. 18-19.

VARET J. - District heating in France. *5th New Energy Industrial Symposium*, Tokyo (Japon), octobre-novembre 1985 (communication non publiée).

1. Géothermie basse et moyenne énergie

AUBERTIN G., CORDIER E., DOILLON F., FABRIS H., GABLE R., GAILLARD B., LEDOUR E., DE MARSILLY G., MENJOZ A. - Estimation des vitesses naturelles de circulation de l'aquifère géothermique du Dogger dans le Bassin de Paris : conséquences sur la durée de vie des doublets et la gestion de la ressource. *Colloque "Bilan et perspectives de la recherche française en géothermie"*. Orléans (France), Juin 1985 (communication non publiée).

BAHI L., SCHLICH R., GABLE R. - Application d'un modèle numérique de calcul du champ de températures dans les régions de Bains-les-Bains et Plombières-les-Bains. *Colloque "Bilan et perspectives de la recherche française en géothermie"*. Orléans (France), juin 1985 (communication non publiée).

BOISDET A., MENJOZ A., CAUTRU J.P., FOUILLAC C. - Etat de la recherche des possibilités de réinjection au Trias. *Colloque "Bilan et perspectives de la recherche française en géothermie"*. Orléans (France), juin 1985 (communication non publiée).

CAUTRU J.P., GERARD A. - La structure tectonique associée à l'anomalie géothermique de Soultz-sous-Forêts (Haguenau). *Colloque "Bilan et perspectives de la recherche française en géothermie"*. Orléans (France), juin 1985 (communication non publiée).

FOUILLAC C., IUNDT F., MARTY B., CRIAUD A. - Apports de la géochimie à l'exploitation du Dogger de la région parisienne. *Colloque "Bilan et perspectives de la recherche française en géothermie"*. Orléans (France), juin 1985 (communication non publiée).

MAGET P., HOUSSE B.A. - Geological parameters used to determine the low enthalpy potential of sedimentary formations in France. *Geothermics*, vol. 14, n°2/3, 1985, pp. 207-212.

MENJOZ A., ROJAS J., WATREMEZ P. - Etude détaillée de réservoirs géothermiques en milieu sédimentaire : réservoir du Dogger. *Colloque "Bilan et perspectives de la recherche française en géothermie"*. Orléans (France), juin 1985 (communication non publiée).

TOURNAYE D. - L'opération géothermique de Bonneuil /Marne. *Géothermie Actualités*, vol. 2, n°3, 1985. p. 15-18.

VUATAZ F.D., CRIAUD A., FOUILLAC C., GARCIA D. - Géochimie, géothermie, exploration : exemples en zone de socle (Pyrénées, Vosges, Cézallier). *Colloque "Bilan et perspectives de la recherche française en géothermie"*. Orléans (France), juin 1985 (communication non publiée).

WATREMEZ P., GABLE R., COLENO B. - Estimation par géostatistique de la température du Dogger. *Bull. Sci. Géol.*, 1985, vol. 37, n°3, pp. 213-219.

2. Géothermie - Volcanologie

BENDERITTER Y. - Structure superficielle à signature géothermique mise en évidence par prospection géophysique à proximité de la Montagne Pelée (Martinique). *Colloque "Bilan et perspective de la recherche française en géothermie"*. Orléans (France), juin 1985 (communication non publiée).

CORREIA H., FOUILLAC C., GERARD A., VARET J. - The Asal geothermal field (Republic of Djibouti). *Geothermal Resources Council Transactions*, International Volume, 1985, pp. 513-522.

COUDERT J.M. - Les geysers. *Géothermies actualités*, 1985, vol. 2, n°4, pp. 26-29.

DEMANGE J., FABRIOL H., PUVILLAND P., RANCON J.P., ROCHER P. - Résultats de l'exploration géothermique du cirque de Salazie (Ile de la Réunion) : aspects géologiques, géochimiques et géophysiques. *Colloque "Bilan et perspectives de la recherche française en géothermie"*. Orléans (France), juin 1985 (communication non publiée).

DEMANGE J., IUNDT F., PUVILLAND P. - Geothermal field model of Wotten Waven island of Dominica, Lesser Antilles. *Geothermal Resources Council Transactions*, vol. 9, 1985, pp. 409-415.

MORISSEAU M., TRAINEAU H. - Mise en évidence d'une activité hydromagmatique holocène sur l'île de Florès. *C.R. Acad. Sci.*, T. 301, série II, n°18, 1985, pp. 1309-1314.

POULIQUEN J.M., ANDRE P.L., BENDERITTER Y., GROLIER J., HUCHER M., MOSNIER J., LAUNAY J. - Propriétés thermiques et électriques de quelques roches volcaniques de l'île de la Réunion. *Colloque "Bilan et perspectives de la recherche française en géothermie"*. Orléans (France), juin 1985 (communication non publiée).

RANCON J.P., ROCHER P. - Découverte de zones fumérolliennes fossiles dans le cirque de Salazie (île de la Réunion, Océan Indien). *C.R. Acad. Sci.*, t. 300, série II, n°16, 1985, pp. 821-826.

RANCON J.P., DEMANGE J. - Données sur la fracturation du champ volcanique de Cyangugu-Bugarama (Rwanda). *C.R. Acad. Sci.*, t. 301, série II, n°7, 1985, pp. 503-508.

WESTERCAMP D., TRAINEAU H. - Schéma hydrogéologique et géothermie d'un strato-volcan d'arc insulaire : exemple de la Montagne Pelée, Martinique (Antilles Françaises). *Colloque "Bilan et perspectives de la recherche française en géothermie"*. Orléans (France), juin 1985 (communication non publiée).

ZORPI M., WESTERCAMP D., COULON C., LEGENDRE O. - Etude des paragenèses minérales hydrothermales du champ géothermique du secteur François Robert (Martinique). *Colloque "Bilan et perspectives de la recherche française en géothermie"*. Orléans (France), juin 1985 (communication non publiée).

3. Stockage chaleur - Pompes à chaleur - Microcentrales

AUSSEUR J.Y., RAMPON G. - Etude d'un projet de stockage intersaisonnier de chaleur, en milieu alluvial confiné derrière des parois étanches à Lyon-Gerland (69). *Géothermie Actualités*, 1985, vol. 2, n°3, pp. 19-21.

AUSSEUR J.Y., SAUTY J.P. - Comportement thermique d'un forage à double flux associé à une pompe à chaleur. *La Houille Blanche*, 1985, n°3/4, pp. 273-282.

AUSSEUR J.Y., SAUTY J.P. - L'exploitation des nappes françaises par pompe à chaleur. Aspects hydrogéologiques, thermiques et législatifs. *Congrès AIH, l'hydrogéologie au service de l'homme*, Cambridge (GB), sept. 1985. Rapport BRGM, n°85 SGN 610 EAU, pp. 15-32.

BOISDET A. - Interseasonal heat storage in an aquifer at medium depth. *La Houille Blanche*, n°3/4, 1985, pp. 307-312.

BOISDET A., MENJOZ A. - Présentation du projet de stockage thermique en aquifère profond de Sarcelles. *Colloque "Bilan et perspectives de la recherche française en géothermie"*. Orléans (France), juin 1985 (communication non publiée).

FILIPPI C., SCHWARTZ J., THIERY D. - Estimation des potentialités hydro-électriques d'une micro-centrale par utilisation d'un modèle hydrologique pluie-débit. *Colloque "Petite hydraulique. Problèmes de développement"*, AFME, Sophia-Antipolis, oct. 1985 (communication non publiée).

FILIPPI C., SCHWARTZ J., THIERY D. - La banque de données "Prophète" pour l'estimation de la production potentielle hydro-électrique d'une micro-centrale sur tout le territoire français. *Colloque "Petite hydraulique. Problèmes de développement"*, AFME, Sophia-Antipolis, oct. 1985 (communication non publiée).

IRIS P., VIENNOT P., AUSSEUR J.Y., SAUTY J.P. - Heat storage and heat pumps on aquifer : two cases studies. *Conf. ENERSTOCK*, Toronto (Canada), sept. 1985, pp. 85-89.

JAUDIN F. - L'opération "diagnostic" en minihydroélectricité. *Colloque "Petite hydraulique. Problématique et développement"*. Valbonne (France), octobre 1985 (communication non publiée).

JAUDIN F., LEDUCQ X. - L'utilisation thermique de l'eau souterraine peu profonde par les PAC : la réglementation en vigueur en France. *Géothermie Actualités*, vol. 2, n°4, 1985, pp. 30-36.

LEJEUNE J.M. - Stockage de chaleur en nappe de surface : les pilotes de Montreuil et de Lyon-Gerland. *La Houille Blanche*, n°3/4, 1985, pp. 319-323.

MENJOZ A. - Les stockages thermiques souterrains, techniques d'avenir. *Journées "Maitrise de l'énergie et recherche"*, La Villette - Paris, décembre 1985 (communication non publiée).

MENJOZ A. - Chauffage de pavillons par pompe à chaleur sol-eau sur tubes enterrés. *La Houille Blanche*, n°3/4, 1985, pp. 247-256.

MENJOZ A., BOISDET A. - Modélisation d'un stockage thermique en aquifère. *Colloque "Bilan et perspectives de la recherche française en géothermie"*. Orléans (France), juin 1985 (communication non publiée).

SAUTY J.P. - Corrections naturelle et forcée en aquifère. Applications au stockage d'eau chaude et à la géothermie basse enthalpie. *Ecole d'été du groupement universitaire de thermique sur le thème "transfert en milieux poreux"*. Bombannes (France), septembre 1985, (Ed. Technip en cours).

SAUTY J.P., AUSSEUR J.Y. - L'exploitation hydrothermique des nappes par pompe à chaleur eau-eau. *La Houille Blanche*, n°3/4, 1985, pp. 289-298.

SAUTY J.P., AUSSEUR J.Y. - Présentation d'un progiciel pour l'évaluation automatisée des projets de stockage de chaleur dans le sol. *Conf. ENERSTOCK*, Toronto (Canada), septembre 1985 (communication non publiée).

4. Technologie - Géothermie

AUSSEUR J.Y., SAUTY J.P. - Exploitation thermique du proche sous-sol : études de faisabilité assistées par ordinateur. *Colloque "Bilan et perspectives de la recherche française en géothermie".* Orléans (France), juin 1985 (communication non publiée).

AFZALI H. - Détection des fractures par diagraphies différées en géothermie haute et basse température. *Géothermie Actualités,* vol. 2, n°4, 1985, pp. 20-25.

BOUVET M. - Site géothermal des Escaldes-Engordany (Principauté d'Andorre) : le point de vue du maître d'oeuvre sous-sol. *Géothermie Actualités,* vol. 2, n°3, 1985, pp. 30-33.

GABLE R., WATREMEZ P., COLENO B. - Mesures et modèles conductifs. *La Houille Blanche,* 1985, n°3/4, pp. 221-227.

HONEGGER J.L. - Etude d'un échangeur à contact direct co-courant pour la valorisation thermodynamique de la géothermie moyenne enthalpie. (Thèse, Université Orléans 1984). *Document BRGM* n°98, 1985, 186 p.

HONEGGER J.L., BOISDET A. - Le procédé de gas-lift recyclé à l'exhaure en géothermie. *Colloque "Bilan et perspectives à la recherche française en géothermie".* Orléans (France), juin 1985 (communication non publiée).

LEJEUNE J.M. - L'exploitation des boucles géothermales : comment ? à quel coût ? Cas du Dogger du Bassin Parisien. *Géothermie Actualités,* vol. 2, n°3, 1985, pp. 22-26.

LOMBART R., GOYENECHE O. - Etude des matériaux soumis à des fluides géothermaux corrosifs. *Colloque "Bilan et perspectives de la recherche française en géothermie".* Orléans (France), juin 1985 (communication non publiée).

MARTIN G. - Géothermie basse enthalpie en France : conception des doublets géothermiques ; déroulement d'une opération-type. *La Houille Blanche,* n°3/4, 1985, pp. 339-345.

NOIRBENT M., LONGIN G. - Turbo-pompage en géothermie : le point de vue du maître d'oeuvre. *Géothermie Actualités,* n°1, 1985, p. 37-38.

RECHERCHE SUR LES TECHNIQUES

Télédétection

DELPONT G. - Etude morphostructurale de la région d'Echassières par télédétection. Programme Géologie profonde de la France (GPF 2 - thème 8). *Document BRGM*, n°95- 8, 1985, pp. 73-80.

KING C. - Etude des sols et des formations superficielles par télédétection. Thèse Docteur Ingénieur. *Document BRGM*, n°96, 1985, 174 p.

WEBER C., LE GORGEU J.P. - SPOT I. A new tool for the Earth Sciences. *Workshop of regional geology IUGS-SELPER*, Sao Jose dos Campos (Brésil), décembre 1985 (communication non publiée).

Techniques géophysiques

BERNARD J., HENTINGER R., LEBERT F., STRAUB A. - Improvements in logging methods for mineral exploration. Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy, *Applied Earth Science*, feb. 1985, section B, vol. 94, pp. 32-38.

DEBEGLIA N., WEBER C. - Geologic mapping of the basement of the Paris basin (France) by gravity and magnetic data interpretation. *The utility of regional gravity and magnetic anomaly maps*, 1985, N.T. Hinze Editor - SEG., pp. 154-163.

GUILLEN A. - Modélisation 3D de l'anomalie magnétique du Bassin de Paris. Programme Géologie profonde de la France (GPF2 - Thème 2). *Document BRGM*, n°95-2, 1985, pp. 29-46.

POIRMEUR C., LE MASNE D. - Nouvelles méthodes d'interprétation de mesures électriques forage-surface à l'aide de modélisations tridimensionnelles. Application aux amas sulfurés cachés dans les séries ophiolitiques de Chypre. *Chron. Rech. minière*, n°480, sept. 1985, pp. 57-64.

Techniques géochimiques

BONNEFOY D., BOURG A., LAVILLE-TIMSIT L. - Application of a methodology of geochemical prospection to soil and sediment environmental studies. *Proc. Intern. Conf. "Heavy metals in the environment"*. Athènes (Grèce), septembre 1985, vol. 2, pp. 370-572.

DISNAR J.R., GAUTHIER B., CHABIN A., TRICHET J. - Early biodegradation of ligneous organic materials and relation to ore-deposition in the Treves Zn-Pb orebody. *12th International Meeting of organic geochemistry*. Jülich (RFA), septembre 1985 (communication non publiée).

LECOMTE P., WILHELM E. - Geochemical behaviour of Cu and Au in ferralitic stone line profiles of Gabon. *Meeting EEC-Eurolat "Laterites and weathering"*. Delft (Pays-Bas), avril 1985 (communication non publiée).

LECOMTE P., WILHELM E., ZEEGERS H. - Etudes méthodologiques sur la dispersion de l'or dans les profils d'altération ferralitique. Exemples de Guyane, du Gabon et de Côte d'Ivoire. *Journées de réflexion sur la prospection de l'or au Gabon.* Libreville (Gabon), mai 1985 (communication non publiée).

LECOMPTE P., ZEEGERS H. - Geochemistry of stone line weathering profiles. *International workshop on geochemical exploration in tropical rain forests.* Manaus (Brésil), mars 1985 (communication non publiée).

MARTY B. - On the noble gas isotope fractionation in naturally occuring gases. *Geochemical Journal*, n°18, 1985, pp. 157-162.

MARCOUX E., CALVEZ J.Y. - Age, genèse et prospection des concentrations minérales : les possibilités offertes par les isotopes du plomb. *Chron. Rech. minière*, 1985, n°478, pp. 21-32.

MARCOUX E., PICOT P. - Les minéralisations de Pontgibaud (Puy-de-Dôme, France) : une approche complémentaire par la géochimie isotopique du plomb et les paragenèses. *Chron. Rech. minière*, 1985, n°481, pp. 27-28.

NAKASHIMA S., DISNAR J.R., PERRUCHOT A., TRICHET J. - Fixation et réduction de l'uranium par les matières organiques naturelles : mécanismes et aspects cinétiques. *Colloque "Concentration Mechanisms of Uranium in geological Environment"*, Nancy (France), octobre 1985 (communication non publiée).

PRADIER B. - Géochimie alluvionnaire de l'uranium en milieu tempéré. Proposition d'une procédure opérationnelle pour la prospection géochimique des métaux mobiles. *Chron. Rech. Minière*, 1985, n°478, mars, pp. 33-42.

ROQUIN C. - Traitement des données en prospection géochimique : facteurs de variation de signal et sélection de la composante anomalie. *Document BRGM*, n°86, 1985, 316 p.

ROQUIN C., ZEEGERS H. - Improving anomaly selection by statistical estimation of background variations in regional geochemical prospecting. *11th International Geochemical Exploration Symposium.* Toronto (Canada) avril-mai 1985 (communication non publiée).

TRICHET J., DISNAR J.R., BONNAMY S., GAUTHIER B., NAKASHIMA S., OBERLIN A., PERRUCHOT A., ROUZAUD J.N. - Le comportement mutuel de la matière organique et des métaux : Implications géochimiques et métallogéniques. *Réunion spécialisée de la SGF "Géologie de la matière organique"*. Orléans (France), mars 1985, (communication non publiée).

VIALLEFOND L. - Application de la classification hiérarchique ascendante au traitement des résultats de géochimie sol à l'aplomb de l'apex granitique d'Echassières- Beauvoir. Programme Géologie profonde de la France. (GPF 2 - thème 8). *Document BRGM*, n°95-8, 1985, pp. 125-135.

ZEEGERS H. - Same examples of gold geochemical dispersion and trace elements signature in saprolite and soil above primary mineralizations in french Guiana. *International workshop on geochemical exploration in tropical rain forests*. Manaus, (Brésil), mars 1985 (communication non publiée).

ZEEGERS H., ALSHANFARI S.M., ALMUFLEHI Y.A, LETALENET J. - Aspects of regional geochemical prospecting in desert conditions, *numéro spécial de l'IMM : prospection en zone désertique*, 1985, pp. 131-140.

Techniques analytiques

1. Développement des outils analytiques

BENY-BASSEZ C., ROUZAUD J.N. - Characterization of carbonaceous materials by correlated electron and optical microscopy and raman microspectroscopy. *Scanning Electron Microscopy*, 1985, pp. 119-132.

BORSIER M., JACQUIN J.P. - Evolution récente des techniques analytiques appliquées à la prospection et à la connaissance des minerais. *Pangea*, 1985, n°4, pp. 5-11.

CAYE R. - L'apport de la microsonde à l'environnement. La microsonde électronique BRGM/CNRS. Journée dédiée à Monsieur le professeur R. Castaing, Orléans (France), juillet 1983. *Document BRGM*, n°89, 1985, pp. 61-64.

GATEAU C., EL KALIOBI F., PREVOSTEAU J.M. - Contribution à la microscopie électronique à balayage à la minéralogie quantitative. *XVe Congrès international de Minéralurgie*. Cannes (France), juin 1985, t. I, pp. 133-141.

GONI J. - L'apport de la microsonde à la géochimie. La microsonde électronique BRGM/CNRS. Journée dédiée à Monsieur le professeur R. Castaing, Orléans (France), juillet 1983. *Document BRGM*, n°89, 1985, pp. 47-50.

JOHAN Z., REMONG G. - Les microsondes : bilan et perspectives. La microsonde électronique BRGM/CNRS. Journée dédiée à Monsieur le professeur R. Castaing, Orléans (France), juillet 1983. *Document BRGM*, n°89, 1985, pp. 65-84.

LEHMANN J., PHAN K.D., THIRY M. - Utilisation du microdiffractomètre de rayons X à compteur annulaire pour l'orientation relative des cristaux des lames de roche ou de minerai. *Bull. Minéral.*, 1985, n°108, pp. 233-244.

PERMINGEAT F., PIERROT R. - L'apport de la microsonde à la minéralogie. La microsonde électronique BRGM/CNRS. Journée dédiée à Monsieur le professeur R. Castaing, Orléans (France), juillet 1983. *Document BRGM*, n°89, 1985, pp. 37-42.

PINAULT J.L., LAMBERT M.O., PEUZIAT C., PREVOSTEAU J.M., MOAL J.Y., SZCZYHEL M. - SYRANO : un nouvel appareil pour le suivi analytique du traitement de minerai. *XVe Congrès international de Minéralurgie*, Cannes (France), juin 1985, t. III, pp. 199-10.

REMOND G., HOLLOWAY P.H., KOSAKEVITCH A., RUZAKOWSKI P., PACKWOOD R.H., TAYLOR J.A. - X-Ray Spectrometry, Electron spectroscopies and Optical Microreflectometry Applied to the Study of ZnS Tarnishing in Polished Sulfide ore Specimens. *Scanning Electron Microscopy*, 1985, IV, pp. 1305-1326.

ROBELIN C., GIOT D. - Distinction des étapes de croissance des ciments carbonatés par pétrographie en cathodoluminescence. *Colloque "Bilan et perspectives de la recherche française en géothermie"*. Orléans (France), juin 1985 (communication non publiée).

TOURAY J.C., BENY-BASSEZ C., DUBESSY J., GUILHAUMOU N. - Microcharacterization of fluid inclusions in minerals by raman microprobe. *Scanning Electron Microscopy*, 1985, pp. 103-118.

2. Minéralogie descriptive

CANTINOLLE P., LAFORET C., MAUREL C., PICOT P., GRANGEON J. - Contribution à la minéralogie de l'indium : découverte en France de deux nouveaux sulfures d'indium et de deux nouvelles occurrences de roquesite. *Bull. Minéral*, 1985, 108, pp. 245-248.

CESBRON F., GINDEROW D. - La sidwillite, MoO_3, $2H_2O$, une nouvelle espèce minérale de Lake Como, Colorado, U.S.A., *Bull. Minéral*, 1985, pp. 813-823.

CESBRON F., GIRAUD R., PICOT P., PILLARD F. - La vinciennite, $Cu_{10}Fe_4Sn$ (As, Sb) S_{16}, une nouvelle espèce minérale. Etude paragénétique du gîte type de Chizeuil, Saône-et-Loire. *Bull. Minéral.*, 1985, 108, pp. 447-456.

CESBRON F., KOSAKEVITCH A. - Revue bibliographique des modifications apportées à la nomenclature minéralogique. LVIII. *Bull. Minéral.*, 1985, 108, pp. 859-869.

CESBRON F., LULIN J.M., PARFENOFF A. - Un type de zircon exceptionnel : le zircon tabulaire - 001 - du complexe alcalin de Meponda (Mozambique) ; signification génétique. *Bull. Minéral.*, 1985, 108, pp. 825-828.

CESBRON F., PELISSON P., PIERROT R. - Les espèces minérales nouvelles dans le monde découvertes et/ou décrites par des minéralogistes français (ou avec leur collaboration) au cours des vingt-cinq dernières années : 1958-1983. *Bull. Minéral*, 1985, 108, pp. 575-581.

GINDEROW D., CESBRON F. - Structure de la Roubaultite, $Cu_2(UO_2)_3(CO_3)_2O_2(OH)_2.4H_2O$. *Acta Cryst*, 1985, C41, pp. 654-657.

JOHAN Z. - The Cerny Dul deposit (Czechoslovakia) : an example of Ni, Fe, Ag, Cu- Arsenide mineralization with extremely high activity of arsenic ; new data on paxite, novakite and kutinaite. *TMPM Tschermaks Min. Petr. Mitt.*, 1985, n°34, pp. 167-182.

MACAUDIERE J., BROWN W.L. OHNENSTETTER D. - Microcrystalline textures resulting from rapid crystallization in a pseudotachylite melt in a meta-anorthosite. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 1985, n°89, pp. 39-51.

MOELO Y., OUDIN E., MAKOVICKY E., KARUP-MOLLER S., PILLARD F., BORNUAT M., EVANGHELOU E. - La kirkiite, $Pb_{10}Bi_3As_3S_{19}$, une nouvelle espèce minérale homologue de la jordanite. *Bull. Minéral.*, 1985, 108, pp. 667-677.

PILLARD F., CHAURIS L., LAFORET C. - *Inventaire minéralogique de la France l'Ille-et-Vilaine (35)*, 1985, n°13, 148 p.

ROBERT J.L., GASPERIN M. - Crystal structure refinement of hendricksite, a Zn and Mn-rich trioctahedral potassium mica : a contribution of the crystal chemistry of zinc-bearing minerals. *TMPM Tschermaks Min. Petr. Mitt.*, 1985, n°34, pp. 1-14.

WILLIAMS S.A., CESBRON F. - Yecoraite $Fe_3Bi_5(TeO_4)_2O_9$, nH_2O ; a new mineral from Sonora, Mexico. *Societad Mexicana de Mineralogia*, AC, 1985, vol. 1, n°1, pp. 10-16.

Techniques minéralurgiques

ARNAUD M., CECILE J.L., PARTYKA S., BRUN B. - Etude calorimétrique du système galène/ion éthylxanthate. *Calorimétrie - Analyse Thermique*, 1985, vol. 16, pp. 61-67 ; compte rendu des Journées de Montpellier (France). Mai 1985.

BARBERY G., BLOISE R., BODZIONY J., GATEAU C., KRAJ W. - Measurements of Mineral Liberation of Comminuted Ores. *Archiwum Gornictwa*, 1985, t. 30, n°2, pp. 297-310.

BAUDET G., DELUBAC G. - Identification des facteurs importants dans la flottation du phosphate des anciens rejets des digues à stériles de Taïba (Sénégal). *Compte rendu "15th International Mineral Processing Congress"*, Cannes (France), juin 1985, t. III, pp. 367-379.

BLOISE R., BROUSSAUD A., ZOULALIAN A., BALAY V. - Un nouveau type de machine de flottation. *Industrie Minérale, Les Techniques*, 1985, n°6/85, pp. 258-262 ; compte-rendu du Congrès SIM, Aix-les-Bains (France), mai 1984.

BROUSSAUD A., BARBERY G. - Mineral liberation analysis : simulation and assessment of reconstruction methods for 1-D and 2-D image analyzers. *"16th Annual Meeting of the Fine Particle Society"*. Miami Beach (USA), avril 1985 (communication non publiée).

BROUSSAUD A., BRACHET C., FOURNIGUET G., AUDOLI H., LAPLACE G. - Prédiction par simulation de l'influence de modifications de flowsheet sur les performances de l'usine de flottation de barytine de Chaillac (Indre, France). *Compte rendu "15th International Mineral Processing Congress"*, Cannes (France), juin 1985, t. III, pp. 49-61.

CECCHIN T., MORIO M., BOULARD J.J. - Instrumentation d'une unité pilote de broyage-flottation adaptée aux minerais sulfurés complexes : conduite automatisée du circuit de broyage-classification. *Compte rendu "15th International Mineral Processing Congress"*, Cannes (France), juin 1985, t. III, pp. 99-111.

CECILE J.J. - Application of XPS in the study of sulphide mineral flotation. A review. *Developments in Mineral Processing*, 1985, vol. 6, p. 61-80. Workshop on flotation of sulphide Minerals. Stockholm (Suède), juin 1984.

CECILE J.L., BAUDET G. - Influence de la qualité de l'eau sur l'efficacité de la flottation et de la floculation. *Industrie Minérale, Les Techniques*, 1985, n°6/85, pp. 263-268 ; compte rendu du Congrès SIM - Aix-les-Bains (France), mai 1984.

CLIN F., JACQUIN J.P. - La minéralurgie au BRGM. Recherche et développement de procédés. *Industrie Minérale, Les Techniques*, 1985, n°5/85, pp. 195-198.

GATEAU C., BROUSSAUD A. - New approaches to the interpretation of one dimensional and two dimensional measurements of mineral liberation. *4th European Symposium for stereology*. Goteborg (Suède), août 1985, (communication non publiée).

HOUOT R., SAVE M., FROMIGUE B., VIGOUREUX P. - Industrial sulphonates and barite flotation. *Transactions of IMM*, section C, vol. 93, 1985, décembre, pp. C195- C200.

KONEV V.A., IGOSHIN A.S., ASONCHIK K.M., ZAVARINA R.I., LEBEDEVA N.V., CECILE J.L., MAILLOT M., BLOISE R., BOISSAY S. - Influence réciproque des minéraux sulfurés en flottation. Cas des systèmes chalcopyrite/pyrite et chalcopyrite/blende. *Compte rendu "15th International Mineral Processing Congress"*, Cannes (France), juin 1985, t. II, pp. 189-197.

LAM O., LAMACHE M., BAUER D., CECILE J.L. - Etude analytique des réactions lors de l'oxydation de la galène au contact de solutions de xanthate à pH 9. *Compte rendu "15th International Mineral Processing Congress"*, Cannes (France), juin 1985, t. II, pp. 154-166.

MORIN D., GEORGEAUX A., CONIL P., BRUVIER H., BLOISE R. - Optimisation de la valorisation des minerais sulfurés complexes par lixiviation sélective. *Compte rendu "15th International Mineral Processing Congress"*, Cannes (France), juin 1985, t. III, pp. 234-246.

MORIZOT G., MORIO M., CECCHIN T. - Pilot-scale flotation of complex sulfide ores. *Developments in Mineral Processing*, 1985, vol. 6, pp. 293-315. Workshop on Flotation of Sulphide Minerals - Stockholm (Suède). Juin 1984.

OLLIVIER P., POLGAIRE J.L., CHERIF M., HNID M., LEGOAS G., MORIZOT G. - Cobaltiferous tailings treatments for producing a high grade hydroxyde. *International Journal of Mineral Processing*, 1985, vol. 15, n°1/2, pp. 1-17 ; Symposium on Extraction of Steel Alloying Metals - Lulea (Suède). Mars 1983.

Informatisation - Géostatistique

CAO TT., HUMBERT M. - MOCA, un système interactif d'intégration des données et d'aide à la décision. *Métropolis*, 1985, n°70-71, pp. 82-88.

CHILES J.P. - Une application de la géostatistique à la géophysique. *Congrès de statistique*. Pau (France), mai 1985 (communication non publiée).

E. LISTE DES CARTES GEOLOGIQUES ET THEMATIQUES

Cette liste donne le nom et le numéro des cartes éditées en 1985 auxquelles le BRGM a collaboré.

Les noms d'auteurs en italiques sont ceux des agents BRGM ayant participé au lever des cartes, ou à la rédaction des notices.

CARTES GÉOLOGIQUES ET THÉMATIQUES

Carte géologique de la France à 1/50 000

1. Métropole

BOULOGNE-SUR-MER (10) - A. Bonte, P. Broquet, *J.N. Hatrival, J.P. Destombes*, J.P. Colbeaux, *J. Leplat*).

BRUYERES (340) - J. Hameurt, M. Durand, J.C. Flageollet, *P.L. Vincent.*

CAPENDU (1060) - F. Ellenberger, J.C. Plaziat, P. Freytet, M. Jaffrezo, A. Charrière, *A. l'Homer*, N. Legrand-Lespinasse, J. Huguet, G. Bessière, *M. Bigot*, D. Cluzel, A. Combes, A. Ovtracht, *G. Berger.*

MATHA (684) - P. Hantzpergue, *B. Bourgueil*, P. Moreau.

MONTBRON (710) - J.P. Floc'h, *G. Le Pochat*, M. Gottis, L. Humbert, M. Lenguin, Ph. Roger, E. Sellier, V. Liepmann, B. Simon, *J.P. Platel*).

PARTHENAY (565) - M. Dhoste, Ph. Ildefonse, *L. Coubès.*

PLESTIN-LES-GREVES (202) - M. Barrière, B. Cabanis, *J. Chantraine*, L. Chauris, Y. Lulzac, P. Verdier, *Y. Herrouin, D. Rabu, G. Weecksteen*, M.C. Chauris, C. Larsonneur, *A. Autran*, C. Barrois.

PUY-L'EVEQUE (856) - *J.G. Astruc.*

RUGLES (178) - *G. Kuntz, C. Monciardini*, J.C. Favrot, R. Bouzigues.

2. Nouvelle Calédonie

TOUHO-POINDIMIE (11/12) - *P. Maurizot, Ch. Tessarolo, D. Feigner.*

3. Collectivité territoriale de Mayotte

ILE DE MAYOTTE - *L. Stieljès*, J.M. Cantagrel, J. Nougier, P. Watelet, N. Vatin-Pérignon.

Carte géologique de l'Arabie à 1/250 000

AL FAYDAH QUADRANGLE - Sheet 25 G - *D. Vaslet, M. Beurrier, M. Villey, J. Manivit, P. Le Strat, Y.M. Le Nindre, A. Berthiaux, J.M. Brosse, J. Fourniguet.*

DARMA QUADRANGLE - Sheet 20 G - *J. Manivit, C. Pellaton, D. Vaslet, Y.M. Le Nindre, J.M. Brosse, J.P. Breton, J. Fourniguet* (with a section on Proterozoïc economic Geology by J.C. Prévot).

SULAYYIMAH QUADRANGLE - Sheet 21 H - *D. Vaslet, C. Pellaton, J. Manivit, Y.M. Le Nindre, J.M. Brosse, J. Fourniguet.*

WADI AL MULOYH QUADRANGLE - Sheet 22 H - *J. Manivit, C. Pellaton, D. Vaslet, Y.M. Le Nindre, J.M. Brosse, J. Fourniguet.*

WADI TATHLITH QUADRANGLE - Sheet 20 G - K.S. Kellog, *D. Janjou, L. Minoux, J. Fourniguet.*

Cartes thématiques

1. Carte des coulées historiques du volcan de la Fournaise (Ile de la Réunion)

CARTE A 1/25 000 - Ph. Mouton, *Ph. Rocher, G. Billard*, P. Bachelery, L. Chevallier, *L. Stieltjès*, R. Robert, Commerson, J.H. Hubert, A. Bert, P. de Rosemont, G.J. et J.M. Bary de Vincent, L.G.D. Maillard, J.F. Hugoulin, A. Lacroix, M. Jean, J. Defos du Pau, M. Ducrot, le guide Picard, A. Baquet, R. Bénard, A. Gérente, L. Montaggioni, G. Kieffer, P.M. Vincent.

2. Carte des gîtes minéraux de la France à 1/500 000

TOULOUSE -(avec notice explicative) - *J. Méloux, B. Gauthier, A. Autran, J.P. Bois, C. Bouquet, M. Brière, C. Guiraudie, P. Lagny, A. Michard, B. Passaqui, G. Pouit, J.P. Prouhet*, F. Tollon, *A. Ziserman.*

3. Carte du plateau continental français à 1/500 000

CARTE DES SEDIMENTS SUPERFICIELS DU PLATEAU CONTINENTAL DU GOLFE DE GASCOGNE - PARTIE SEPTENTRIONALE (avec notice explicative) - A. Klingebiel, P. Lesueur, *Ph. Bouysse*, D. Dorel, J.P. Pinot, J.R. Vanney, J.P. Barusseau, F. Ottman, Y. Delanoë, Cl. Chassé, M. Glemarec ;
- Banque de données de géologie marine (BRGM, Centre de Brest de l'IFREMER,
- Service de documentation de l'Institut de Géologie de Bassin d'Aquitaine.

Notice de la carte géologique de la France à 1/50 000

AIX-EN-OTHE (332) - B. Pomerol, M. Bournérias, *J.J. Châteuneuf, D. Fauconnier*, F. Magniez-Jannin, *Ch. Monciardini*, J. Tourenq, C. Wagner.

AVIZE (158) - M. Laurain, J. Allouc, J. Leroux, P. Louis, *Ch. Monciardini, P. Morfaux.*

BEAUNE (526) - *C. Rémond, J.G. Blanalt, M. Bigot.*

BERGERAC (806) - *J.P. Platel*

BERNAY (148) - *G. Kuntz, Ph. de la Quérière, Ch. Monciardini,* G. Verron.

BOULOGNE-SUR-MER (10) - A. Bonte, J.P. Colbeaux, *J. Leplat,* J. Sommé.

BRUYERES (340) - *P.L. Vincent,* M. ALLemmoz, J. Delaunay, M. Durand, J.C. Flageollet, Ch. Guillaume, J. Timbal, *J. Vogt.*

HAZEBROUCK (13) - *J. Leplat,* J.P. Colbeaux, J. Sommé.

NANT (936) - B. Gèze, *A. Bambier,H. Paloc.*

PIERRE-DE-BRESSE (554) - *R. Fleury, L. Clozier, J.J. Collin, G. Farjanel,* J.J. Puisségur.

POINTE-DU-RAZ (344) - M. Barrière, L. Chauris, *Y. Fouquet,* A. Guilcher, J.P. Lefort, A. Pelhate.

REDON (419) - *Fourniguet, F. Trautmann.*

SAINT-AMOUR (626) - F. Bergerat, *R. Fleury,* P.C. Beauduc, *G. Farjanel,* A. Guiffray, G. Latreille, J.J. Puisségur.

SANCERRE (493) - *G. Lablanche, M.C. Maugenest, N. Desprez.*

SARTENE (1123) - J. Marre, O. Conchon, *A. Bambier, R. Dominici.*

TOUL (229) - J.C. Flageollet, J. Le Roux, *P.L. Vincent,* J. Delaunay, Ch. Guillaume, Ph. Renaud, *J. Ricour,* J. Timbal, *J. Vogt.*

VENACO (1114) - S. Amaudric du Chaffaut, B. Bonin, J.M. Caron, O. Conchon, *Ph. Rossi, A. Bambier, L. Damiani, R. Dominici, H. Heetveld, J. Rouire.*

F. LISTE DES THESES ET DIPLOMES SOUTENUS

Thèses et diplômes soutenus en 1985 par les agents du BRGM et par les stagiaires de recherche, affectés dans les différentes unités, représentent 35 titres.

Géologie générale et régionale

BARFETY J.C. (D. Etat) - Le Jurassique dauphinois entre Durance et Rhône. Etude stratigraphique et géodynamique. Evolution de la marge nord-téhysienne (Alpes occidentales françaises). (*Univ. Grenoble 1, lab. géologie, minéralogie*).

CHALET M. (3e cycle) - Etude lithostratigraphique et structurale des "Porphyroïdes" et formations paléozoïques associées. Bas Bocage vendéen (région de Mareuil-sur-Lay). (*Univ. Poitiers, lab. géologie dynamique et structurale*).

DEFFONTAINES B. (DEA) - Proposition d'une méthodologie géomorphologique d'approche de la néotectonique (région de Fougères). (*Univ. Orléans, lab. géologie dynamique et structurale*).

DUPIRE S. (3e cycle) - Etude cartographique à 1/25 000 de la zone sud du bassin de Marseille. Les travertins de Marseille, aperçu géomorphologique et néotectonique. (*Univ. Aix-Marseille, lab. géologie appliquée*).

FARJANEL G. (D. niversité) - La flore et le climat du Néogène et du Pléistocène de Bresse (France) d'après l'anlyse pollinique (*Univ. Dijon, lab. paléogéographie et paléobiologie*).

FOURNIGUET J. (D. Etat) - Géodynamique actuelle dans le nord et le nord-est de la France. Apport des comparaisons de nivellements. (*Univ. Orléans, lab. géologie dynamique et structurale*).

LANAU J.M. (3e cycle) - Sédimentation, diagenèse d'une serie hypersiliceuse : le groupe d'Ozouri Paléogène supérieur - Eocène inférieur, du bassin côtier gabonais. (*Univ. Poitiers , lab. pétrologie de la surface*).

PETIT G. (D. Université) - Les argiles dans le Crétacé moyen du nord est du bassin de Paris et de la fosse vocontienne. (*Univ. Nancy, lab. géologie sédimentaire et structure*).

Matières premières minérales

AUGE T.L. (D. Etat) - Chromites et minéraux du groupe du platine dans les complexes ophiolitiques. Caractérisation des séries hôtes. (*Univ. Orélans, lab. géologie appliquée, métallogenie, géochimie, minéralogie*).

BORGET J.N. (3e cycle) - Contribution à l'étude de la genèse des minéralisations siliceuses associées aux roches basaltiques (nord ouest de l'Uruguay). (*Univ. Clermon-Ferrand 2, lab. géologie, minéralogie*).

GENTER A. (DEA) - Le bassin permo-triasique d'Argana (Maroc) : étude des minéralisations dans un contexte géodynamique et métallogénique d'ouverture océanique. Type mer Rouge (*Univ. Orléans, lab. géologie dynamique et structurale*).

GRIVOTTE J.M. (3e cycle) - Les granites de la région de la Chaise-Dieu (Haute-Loire). Etude pétrographique et structurale). (*Univ. Clermont-Ferrand 2, lab. géologie. minéralogie*).

IZORET L. (3e cycle) - Cristallochimie des clinopyroxènes : études spectrographiques des diopsides des séries basiques et ultrabasiques et calibraes expérimentaux. (*Univ. Paris VI, lab. minéralogie, cirstallographie*).

LEHMANN J. (D. état) - Modèle de calcul des activités des solutions solides multicomposants-multisites de type spinelle - Applications à quelques données expérimentales. (*Université Paris 6, tab. géochimie comparée et systématique*).

PLANQUE D. (DEA) - Etude des filons aurifères du secteur d'Alteyrac - pont de Rastel (Chamborigaud, Gard). (*Univ. Orléans, lab. géologie appliquée, métallogénie, géochimie, minéralogie*).

SADIQ A.Z. (DES) - Sédiments métallifères de la fosse Atlantis II (mer Rouge) : étude lithostratigraphique, minéralogique et géochimique. (*Univ. Orléans, lab. minéralogie dynamique et structurale*).

Aménagement

CARON C. (DEA) - Bilan des substances azotées dans le bassin d'alimentation du champ captant des ansereuilles. (*Univ. Lille 1, lab. géologie appliquée*).

DESHONS P. (DEA) - Etude de l'érosion et des transports solides dns des bassins expérimentaux. (*Univ. Montpellier 2, USTL, lab. hydrologie mathématique*).

DROZ B. (3e cycle) - Influence de la structure et de la nature des terrains du valenciennois sur la qualité de la nappe de la craie. (*Univ. Lille 1, lab. géologie appliquée*).

FALCETTA J.L. (D. Ingénieur) - Etude cinématique et dynamique de chutes de blocs rocheux. (*Lyon INSA. lab. géotechnique*).

GELI L. (D. Ingénieur) - Propagation d'ondes sismiques dans les formations superficielles. (*Univ. Grenoble 1, IRIGM*).

OUVRY J.F. (D. Ingénieur) - Etude physique et rhéologique des argiles congelées. Application à l'argile profonde de Boom (Belgique). (*Nancy INPL ENSGA, lab. mécanique, hydraulique sols, roches*).

SALIC C. (D. Ingénieur) - Evaluation du potentiel en eau du karst pyrénéen entre les vallées de la Neste et de l'Aude. (*Univ. Paris VI, lab. géologie dynamique*).

SOUKATCHOFF V. (D. Ingénieur) - Valorisation des fichiers qualité des eaux de la nappe des grès inférieurs du trias de Lorraine. (*Nancy INPL ENSGA, lab. mécanique, hydraulique sols, roches*).

Energies nouvelles

BAHI L. (D. Etat) - Contribution à l'étude des possiblités d'utilisation de l'eau souterraine par les pompes à chaleur. (*Univ. Strasbourg 1, LP IPG, lab. paléomag. géoth. géochrono.*).

BOUE J.P. (CNAM-Ingénieur) -L'eau, un vecteur d'énergie dans le bassin minier Nord-Pas-de-Calais. Recherches concernant l'exploitation thermique de l'aquifère crayeux par pompes à chaleur. (*Paris CNAM, lab. géologie appliquée aux bâtiments et T.P.*).

BOUNIOL B. (3[e] cycle) - Etude d'un réservoir géothermique carbonaté : le Lusitanien de la région parisienne. (*Univ. Paris VI, lab. géologie sédimentaire*).

GARCIA D. (3[e] cycle) - Etude isotopique et géochimique des eaux thermales des Vosges méridionales (application géothermique). (*Univ. Montpellier 2, USTL, lab. hydrogéologie*).

HONNEGER J.L. (3[e] cycle) - Etude d'un échangeur à contact direct co-courant pour valorisation thermodynamique de la géothermique moyenne enthalpie. (*Univ. Orléans, lab. géologie appliquée, hydrogéologie, hydropédologie*).

JAUDIN J. (3[e] cycle) - Contribution à l'étude des possibilités d'utilisation de l'eau souterraine par les pompes à chaleur. (*Univ. Orléans, lab. géologie appliquée, hydrogéologie, hydropédologie*).

JAY M. (D. Ingénieur) - Exploitation thermique du sous-sol par un échangeur enterré vertical associé à une pompe à chaleur. (*Univ. Orléans, lab. géologie appliquée, hydrogéologie, hydropédologie*).

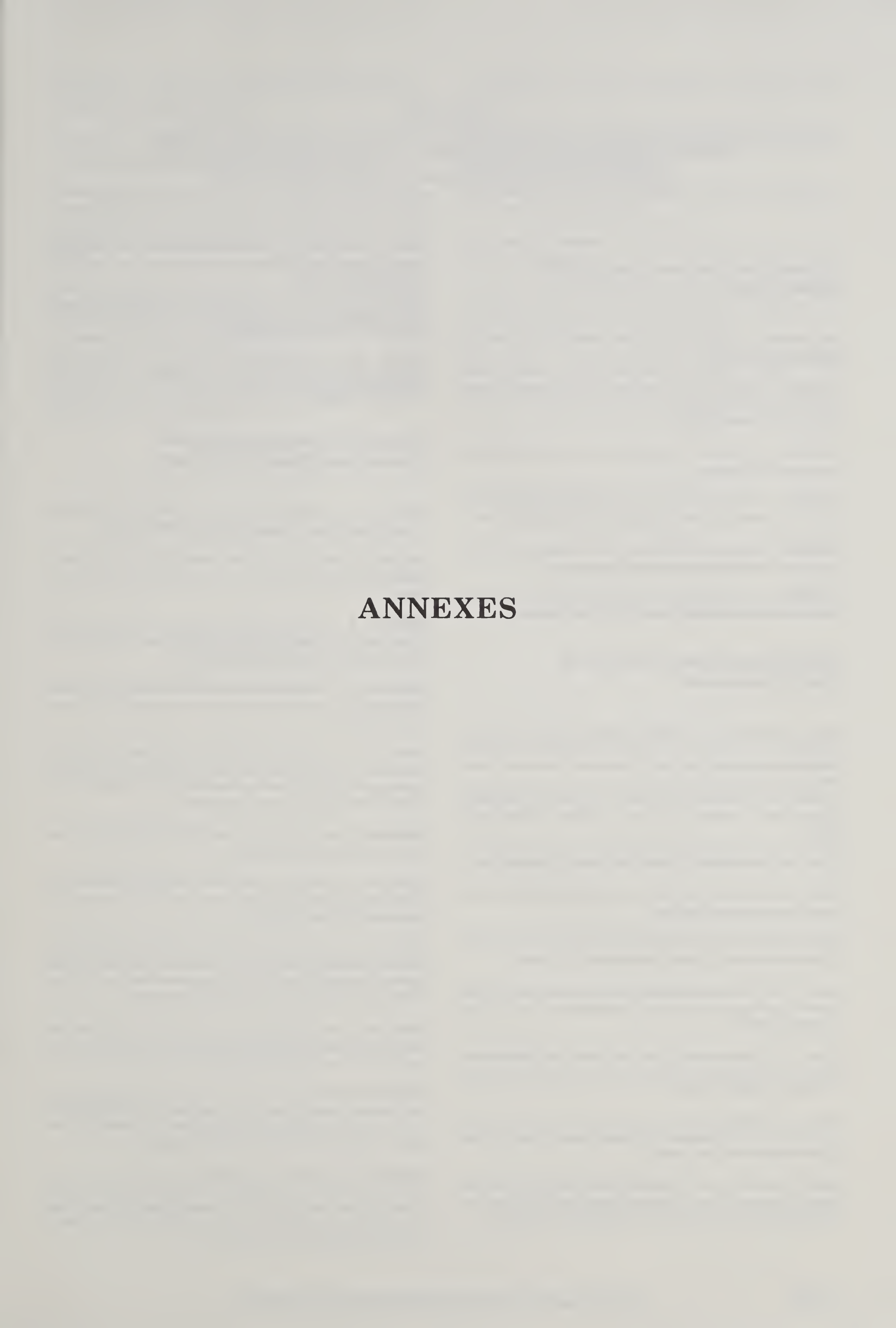
Recherches sur les techniques

DECHELOTTE H. (3[e] cycle) - Le profil de résistivité appliqué à la définition et à la cubature d'un gisement de lignites dans les Landes de Gascogne (Mezos nord). (*Univ. Bordeaux I, lab. études et recherches géophysique appliquée*).

KING C. (D. Ingénieur) - Etude des sols et des formations superficielles par télédétection. (*Paris INA, lab. pédologie*).

ROUZEAU O. (DEA) - Apport des données satellitaires thermiques bassin de Paris. Etude des linéaments d'après les images H.C.M.M. (*Univ. Orléans, lab. géologie dynamique et structurale*).

WLOSZOZOWSKI D. (DEA) - Modélisation à deux dimensions des signaux magnétotelluriques par la méthode des éléments finis. (*Univ. Paris VI, lab. tectonophysique*).



ANNEXES

ANNEXE 1

OPERATIONS DE RECHERCHE A FRAIS PARTAGES AYANT BENEFICIE DE FONDS DE CONCOURS EN 1985

Aides du ministère chargé de la recherche

83.3.940059 - Regroupement pour diffusion des éditions géologiques non-profit.

83.J.0826 - Evaluation des transports solides et modélisations mathématiques de l'évolution morphologique des lits fluviaux ; application au cas de la Loire.

83.L.0738 - Datations complémentaires des formations volcaniques de Mayotte.

84.J.0407 - Risque sismique dans les Petites Antilles françaises : évaluation de potentiel sismique, vulnérabilité du bâti.

84.E.0615 - Fractures hydrauliques : étude expérimentale de la propagation et des émissions acoustiques associées.

84.F.1489 - Correspondance entre les paramètres de la loi élasto-plastique et ceux de la mécanique des sols classique.

Aides du ministère chargé de l'environnement

83.103 - Recherche sur l'inventaire, analyse critique et synthèse des études et recherches concernant les impacts réels des décharges ou dépôts de déchets industriels sur le sous-sol (zones non saturées et saturées).
- Recherche et analyse de l'évolution de l'altération des dépôts miniers fins et grossiers de la digue à stériles de Saint-Salvy (Tarn).

83.145 - Recherche sur site expérimental de la migration en terrain semi-perméable d'effluents issus de boues industrielles.

83.302 - Recherche sur les effluents issus d'une décharge mixte de déchets urbains et industriels.

84.061 - Recherche sur les effluents issus d'une décharge mixte de déchets urbains et de boues industrielles (2ème phase).

84.087 - Utilisation du traçage isotopique naturel pour la mise en évidence des phénomènes de dénitrification dans certains systèmes aquifères.

84.104 - Valorisation des données de l'inventaire géochimique national : les pollutions métalliques dans les Vosges, le Massif armoricain, le Massif central.

84.234 - Utilisation du traçage isotopique naturel pour la mise en évidence des phénomènes de dénitrification dans certains systèmes aquifères (2ème phase).

84.296 - Recherche sur la caractérisation expérimentale des associations entre éléments traces isotopiques et composés des sols et incidence sur leur migration dans la zone non saturée.

84.304 - Recherche sur les mécanismes en jeu dans les phénomènes de dénitrification ayant lieu dans certains systèmes aquifères (3ème phase).

85.175 - Modification des perméabilités de matériaux argileux au contact d'effluents de décharge.

85.195 - Essai d'intégration des données géologiques pédologiques et géochimiques pour une meilleure connaissance de la qualité des sols.

Aides des Commissions des Communautés européennes

ENV 682 F - Recherches sur l'origine et le devenir des composés azotés détectés dans certains systèmes aquifères captifs.

MSM 020 F - Obtention de soufre élémentaire et de métaux à partir de minerais pyritiques - Applications au minerai de Rouez.

MSM 021 F - Développement et vérification de modèles permettant de prédire et d'améliorer les performances d'installations industrielles de flottation.

MSM 022 F - Lixiviation directe des minerais pyriteux complexes, avec dissolution sélective des métaux non ferreux (Pb, Zn, Cu, Ag).

MSM 023 F - Recherche de guides de prospection pour les gisements de platinoïdes dans les complexes stratifiés et ophiolitiques : application au massif de Kadiolo (Mali) et au complexe de Tiebaghi (Nouvelle-Calédonie).

MSM 030 F - Optimisation de la prospection d'éléments miniers par activation neutronique in situ.

MSM 031 F - Mise au point d'une méthode géochimique d'applicabilité générale pour la prospection des gisements de tungstène d'Europe occidentale.

MSM 032 F - Etude des métaux dans les fluides hydrothermaux des axes d'accrétion océanique - L'étude se base sur le forage géothermique de Djibouti où les solutions hydrothermales sont similaires à celles de l'hydrothermalise sous-marin.

MSM 035 F - Essai de prise en compte spécifique de la dispersion chimique des métaux en géochimie sols et sédiments de ruisseau, pour la recherche des gisements cachés.

MSM 036 F - Etude de la distribuion des gîtes de tungstène dans les intrusions granitiques et leur enveloppe ; redistribution du métal dans les sols (Exemple pris dans le Massif central français : secteur de Enguialès et de Montredon.

MSM 037 F - Application coordonnée aux sites cachés des provinces minérales du Massif armoricain (France) et de Rhodope (Grèce) des techniques spatiales de télédétection visible et thermique corrélables avec la géochimie, la géologie structurale et la géologie de subsurface.

MSM 041 F - Définition d'indicateurs pétrographiques et géochimiques pour la recherche de gisements stratiformes cachés dans les séries carbonatées.

MSM 042 F - Etude et mise au point d'une méthode de prospection géochimique par l'analyse des gaz des sols.

MSM 043 F - Spectroscopie de photoélectrons (XPS), électrons Auger (AES) et pertes d'énergie caractéristiques (ELS) appliquées à l'étude de la composition superficielle de la blende artificiellement et naturellement contaminée par des ions lourds.

MSM 044 F - Mise au point technique et essais méthodologiques d'une équipement géophysique électromagnétique multifréquentiel à source contrôlée avec référence de phase dans la gamme du dixième au millier de Hertz.

MSM 130 F - Contrôles géologiques et géochimiques des minéralisations à plomb, zinc et cuivre de la province cambrienne et ordoricienne Auto-Sarde : comparaison entre la Montagne Noire et la Sardaigne.

WAS 356 837 F - Etude d'un paléosite de stockage de déchets radioactifs.

WAS 357 837 F - Devenir à long terme des stockages de déchets radioactifs en formation géologique : analogue avec l'altération des gisements minéraux naturels.

WAS 400 837 F - Mise au point d'une sonde photo-élastique de mesures de contraintes in situ.

ENV 740 F - Dénitrification in situ des eaux souterraines chargées de nitrates.

CLI 88 F - Influence de la variabilité du climat sur les performances des méthodes d'évaluation des caractéristiques des ressources en eau pour les aménagements.

EN3G 0006 F - Expérimentation en vue de la réinjection de saumures géothermales dans les grès du Trias profond.

ANNEXE 2

Liste des abréviations

AFME : Agence française pour la maîtrise de l'énergie
ARC : Action de recherche coordonnée
ATP : Action thématique programmée

BRGM : Bureau de recherches géologiques et minières

CCE : Commission des communautés européennes
CEA : Commissariat à l'énergie atomique
CEE : Communauté économique européenne
CESTA : Centre d'étude des systèmes et des technologies avancées (CEA)
CIRAD : Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement
CNRS : Centre national de la recherche scientifique
CRSCM : Centre de recherche sur la synthèse et la chimie des minéraux (CNRS/BRGM)

DEA : Diplôme d'études approfondies
DGRST : Délégation générale à la recherche scientifique et technique
DRM : Délégation aux risques majeurs

EDF : Electricité de France
EPM : Eléments de la mine du platine
ESA : Agence spatiale européenne (European Space Agency)

FAC : Fonds d'aide et de coopération

GEG : Département Génie géologique (BRGM)
GERSAR : Groupement d'études et de réalisations des sociétés d'aménagement régional
GIE : Groupement d'intérêt économique
GIS : Groupement d'intérêt scientifique
GPF : Géologie profonde de la France
GPG : Géothermie profonde généralisée

HCMM : Heat Capacity Mapping Mission

ICP : Inductively Coupled Plasma
IFP : Institut français du pétrole
IFREMER : Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer (ancien CNEXO)
IGN : Institut géographique national
IMRG : Institut mixte de recherches géothermiques (BRGM/AFME)
INRA : Institut national de la recherche agronomique
ISA : Institut supérieur d'agriculture
IPSN : Institut de protection et de sûreté nucléaire (CEA)

LCPC : Laboratoire central des Ponts et Chaussées

MEB : Microscopie électronique à balayage
MRT : Ministère de la recherche et de la technologie

NOAA : National Oceanic and Atmospheric Administration (USA)

ODP : Ocean Drilling Project
ONM : Office national des mines (Tunisie)
ORSTOM : Institut français de recherche scientifique pour le développement en coopération (anciennement : Office de la recherche scientifique et technique d'Outre-mer)
OTAN : Organisation du traité d'Atlantique nord

PAC : Pompe à chaleur
PACA : Provence, Alpes, Côte d'Azur (Région)
PGE : Platinoïd group elements
PGM : Platinoïd group minerals
PIRSEM : Programme interdisciplinaire de recherche sur les sciences pour l'énergie et les matières premières (CNRS)
PNUE : Programme des Nations-Unies pour l'environnement
POS : Plan d'occupation des sols

RCP : Recherche coopérative sur programme

SGN : Service géologique national (BRGM)
SGR : Service géologique régional (BRGM)
SNEA : Société nationale Elf-Aquitaine
SPOT : Satellite probatoire d'observation de la terre
SRAE : Service régional de l'aménagement des eaux

UBO : Université de Bretagne occidentale (Brest)
UISG : Union internationale des sciences géologiques
UNESCO : Organisation des Nations-Unies pour l'éducation, les sciences et la culture
UPMC : Université Pierre et Marie Curie

ANNEXE 3

Adresses des services géologiques régionaux

Division géologique Nord-Est

Alsace
204, route de Schirmeck - 67200 STRASBOURG
Tél. 88.30.12.82

Bourgogne
Immeuble Caisse d'Epargne
32, boulevard du Maréchal Joffre - 21100 DIJON
Tél. 80.72.42.31

Champagne-Ardenne
13, boulevard du Général Leclerc - 51100 REIMS
Tél. 26.47.93.40

Franche-Comté
12, avenue Fontaine-Argent - 25000 BESANÇON
Tél. 81.88.03.11

Lorraine
Rue du Parc de Brabois - 54500 VANDŒUVRE
Tél. 83.51.43.51

Division géologique Nord-Ouest

Haute-Normandie
18, rue Mazurier - 76130 MONT-SAINT-AIGNAN
Tél. 35.70.38.64

Ile-de-France
65, rue du Général Leclerc -BP 34
77170 BRIE-COMTE-ROBERT
Tél. (1) 64.05.27.07

Nord-Pas-de-Calais
Fort de Lézennes - BP 26 - Lézennes
59260 HELLEMMES-LILLE
Tél. 20.91.38.19

Picardie
12, rue Lescouvé - 80000 AMIENS
Tél. 22.89.49.52

Division géologique ouest

Basse-Normandie
2, rue du Général Moulin - 14000 CAEN
Tél. 31.74.59.90

Bretagne
14, avenue Sergent Maginot - 35100 RENNES
Tél. 99.30.94.51

Centre
10, avenue de Buffon - 45045 ORLEANS-LA-SOURCE
Tél. 38.63.55.66

Pays de Loire
10, rue Henri-Picherit - 44300 NANTES
Tél. 40.29.36.00

Division géologique Sud-Est

Auvergne
Campus universitaire des Cézeaux
24, avenue des Landais - 63170 AUBIERE
Tél. 73.26.24.31

Corse
Immeuble Agostini - ZI de Furiani - 20200 BASTIA
Tél. 95.33.75.67

Languedoc-Roussillon
1039, rue de Pinville - 34000 MONTPELLIER
Tél. 67.65.81.13

Provence-Alpes-Côte-d'Azur
Route Léon Lachamp - Domaine de Luminy
13009 MARSEILLE
Tél. 91.41.24.46

Rhône-Alpes
29, boulevard du 11 novembre - BP 6083
69604 VILLEURBANNE Cedex
Tél. 78.89.72.02

Division géologique Sud-Ouest

Aquitaine
Avenue du Docteur Schweitzer - 33600 PESSAC
Tél. 56.80.69.00

Limousin
7, rue Descartes - 87100 LIMOGES
Tél. 55.77.89.10

Midi-Pyrénées
Avenue Pierre-Georges Latécoère - 31400 TOULOUSE
Tél. 61.52.12.14

Poitou-Charentes
Place des Templiers - ZAC de Beaulieu - 86000 POITIERS
Tél. 49.01.41.65

DOM-TOM

Antilles
Km 0,9 - Route de Didier - BP 394
97204 FORT-DE-FRANCE Cedex
Tél. 596.71.88.68

La Réunion
BP 1206 - Service géologique Océan indien
46 bis, rue de Nice
97484 SAINT-DENIS-DE-LA-REUNION
Tél. 262.21.22.14



Editions du BRGM
B.P. 6009 - 45060 ORLÉANS CEDEX 2
Directeur des publications : Claude Cavelier

ISBN 2-7159-0186-0